

## Resumen

El presente proyecto se ha llevado a cabo en una multinacional del sector del gran consumo que produce una amplia gama de productos de limpieza y de higiene personal, entre otros, detergentes en polvo.

La industria de los detergentes es una de las principales productoras dentro del sector de la industria química. Como en todo proceso industrial hay que tener presente la calidad del producto final así como la eficiencia económica de su producción.

En este sentido, en 2007 la empresa objeto de estudio de este proyecto decidió hacer un cambio en la formulación de los detergentes en polvo para obtener un producto más eficaz contra las manchas y una reducción en el coste de las materias primas para su elaboración, dando así mayores beneficios a la empresa. Sin embargo, a raíz de dicho cambio, se empezaron a detectar en todas las fábricas de esta compañía problemas durante el empaque de este nuevo producto.

Se observó que se producía un mal llenado de los cartones de detergente en polvo en el proceso de empackado, obteniéndose un porcentaje de cartones con un peso por encima o por debajo del objetivo. Este fenómeno es conocido con el nombre de "Overpack & Scrap".

El objetivo de este proyecto ha sido descubrir y eliminar las causas que provocan el mal llenado de estos cartones, para poder así reducir las pérdidas económicas que ello implica.

Para ello se estableció una metodología de trabajo ("focused improvement") que permitió poder determinar cuál era la causa del problema. En primer lugar, se analizaron en detalle las líneas de producción de los departamentos de producción y empaque. Mediante la información proporcionada por los software de captación de datos, se llegó a la conclusión que el problema era la segregación del producto durante su proceso de empackado.

A partir de esta información, se estudió en profundidad la naturaleza y las causas de la segregación con tal de detectar su origen y ponerle solución. Finalmente, se concluyó que la problemática no se debía a las variables que afectan a la segregación, sino a un mal diseño de las instalaciones en la línea de empackado.

Así pues, se estudiaron posibles medidas de mejora del sistema y se implementaron aquellas que eran económicamente viables. El análisis de los resultados de estas medidas mostró una disminución aproximada de la problemática en un 70%. Esto supuso lógicamente grandes beneficios para la empresa, así como la consecución del objetivo de este proyecto.





# Sumario

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>SUMARIO</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. Objetivos del proyecto.....	6
1.2. Alcance del proyecto.....	6
1.3. Motivación del proyecto .....	7
<b>2. LA EMPRESA, EL PRODUCTO Y LOS DEPARTAMENTOS DE PRODUCCIÓN Y EMPAQUE</b>	<b>8</b>
2.1. La empresa .....	8
2.2. El producto .....	10
2.2.1. El detergente en polvo .....	10
2.2.2. Funcionamiento de los detergentes.....	11
2.2.3. Composición de los detergentes .....	12
2.3. Proceso de elaboración. Departamentos de producción y empaque .....	15
2.3.1. Departamento de producción .....	15
2.3.2. Departamento de empaque.....	18
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA ("OVERPACK &amp; SCRAP")</b>	<b>22</b>
3.1. Situación inicial.....	22
3.2. Metodología de trabajo .....	23
3.2.1. "Focused Improvement".....	23
<b>4. ANÁLISIS DE DATOS E IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS: SEGREGACIÓN</b>	<b>26</b>
4.1. Evolución del detergente.....	26
4.2. Recopilación de datos.....	28
4.2.1. Ejemplo del sistema de adquisición de datos.....	29
4.3. Análisis de los datos .....	31
4.4. Segregación .....	39
4.4.1. Teoría de segregación.....	39
4.4.2. Mecanismos de segregación .....	41
4.4.3. Técnicas de corrección de la segregación .....	50
<b>5. ESTUDIO DE VARIABLES RESPONSABLES DE LA SEGREGACIÓN</b>	<b>53</b>
5.1. Eliminación de "Make-up" .....	54



5.2. Estudio de las condiciones atmosféricas .....	58
5.3. Edad del detergente .....	59
5.4. Formación Operarios.....	61
<b>6. PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS.</b>	
<b>COMPROBACIÓN DE RESULTADOS. ....</b>	<b>62</b>
6.1. Salto de cintas .....	63
6.2. Descarga de carros .....	64
6.3. Descarga de la tolva de la llenadora .....	65
6.4. Sustitución de la cabeza de la llenadora.....	66
6.5. Comprobación de resultados .....	67
<b>7. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO .....</b>	<b>71</b>
<b>8. IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>72</b>
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>10. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>77</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>78</b>
11.1. Referencias bibliográficas .....	78
11.2. Bibliografía complementaria .....	79



# 1. Introducción

La industria de los detergentes tiene orígenes muy lejanos. Ya en la época romana se producía jabón más allá del consumo doméstico. Pero el inicio de la producción de detergentes sintéticos a escala industrial no se desarrolló hasta principios del siglo XX [1].

A partir de este momento, la industria de los detergentes (jabones y sintéticos) sufrió una evolución muy rápida y a medida que avanzaban las nuevas tecnologías, cada vez se fueron produciendo detergentes de mayor calidad y capacidad para extraer las manchas.

Las materias primas fueron cambiando de forma muy importante en esta industria. Ya no hacía falta partir de los productos naturales (grasas, aceites) para producir un detergente de alta calidad. Además, los detergentes sintéticos fueron mejorando las propiedades de los jabones naturales en frente a la dureza del agua. También, proporcionaron una mayor capacidad de limpieza y surfactante.

Con el tiempo, aspectos como su biodegradabilidad y presencia de fosfatos se fueron mejorando debido sobretodo a la preocupación medioambiental que fue surgiendo a partir de los años 70.

Hoy en día la industria de los detergentes dispone de departamentos de desarrollo e investigación que trabajan continuamente en la mejora de la calidad de sus productos. Pero como en toda industria, siempre se debe tener presente que la eficiencia económica de los procesos industriales es un elemento de máxima relevancia.

Una de las vías para obtener esta eficiencia es la reducción de costes. En el caso de las industrias de los detergentes de gran consumo, uno de los aspectos a considerar es la reducción de costes en los departamentos de empackado de detergente. Esto les permite ser más competitivos en el mercado. La optimización del proceso de empaque es una de las fuentes para esta disminución de costes.

Por todo ello, el objetivo principal de este proyecto es descubrir y eliminar las causas que provocan el mal llenado de los cartones de una fábrica de detergentes en polvo durante el proceso de empaque, para de esta manera poder así reducir las pérdidas económicas que ello implica.

Seguidamente, se presentaran los objetivos específicos de este proyecto, así como su alcance y la motivación del projectista para realizarlo.



## 1.1. Objetivos del proyecto

Este proyecto pretende descubrir y eliminar las causas que provocan el mal llenado de los cartones de una fábrica de detergentes en polvo, para poder así reducir los costes que ello implica.

Concretamente, se centrará en la problemática conocida con el nombre de “*Overpack & Scrap*”, es decir, llenado de los paquetes de detergente por encima o por debajo de su objetivo.

Los principales objetivos en los que se basa el proyecto son los siguientes:

- Análisis del actual proceso de producción y de empaquetado de una fábrica de detergentes en polvo. De esta manera se conseguirá conocer el funcionamiento de dicho proceso.
- Estudio de la problemática. Con ello se pretenderá identificar las causas del problema.
- Proponer, analizar y ejecutar un plan de acción para eliminar cada una de dichas causas. Este plan implica la implementación de una serie de medidas de mejora.
- Evaluar los resultados obtenidos y su impacto económico, después de aplicar dichas mejoras.

## 1.2. Alcance del proyecto

Con este trabajo se busca una reducción del coste que produce el “*Overpack & Scrap*” en una planta de producción de jabones en polvo.

El hecho de llenar los cartones de jabón con un 3% por encima o por debajo de su peso objetivo implica, sólo para la fábrica de estudio, pérdidas de decenas de miles de euros mensuales.

Así pues, se realizará en primer lugar un análisis exhaustivo de la situación y problemática actual, para poder identificar cuales son las causas del problema.

Dado que éste ocurre en todas las líneas de empaquetado, se tomará como referencia los datos obtenidos de la línea principal.



Se proponen distintas acciones y medidas para tratar de solventar dicho efecto de "sobrellenado o desecho".

Finalmente, se hará un estudio económico del proyecto, donde se analizarán los costes de las mejoras propuestas y el impacto económico que éstas tendrán tras su aplicación.

### **1.3. Motivación del proyecto**

Son muchas las razones que hacen de este proyecto un trabajo de interés para cualquier estudiante de ingeniería, ya que gracias a éste, el alumno no tan sólo puede realizar unas prácticas en una gran empresa, trabajando junto a grandes profesionales del sector, sino que también puede aplicar gran cantidad de los conocimientos adquiridos a lo largo de toda su carrera estudiantil.

Además, gracias a este proyecto, el alumno es capaz de tomar iniciativas propias y participar directamente en las decisiones del proyecto, como si de un ingeniero más se tratase. De esta manera, este primer contacto con la industria se convierte en una primera experiencia laboral.

Es por todo ello que las prácticas realizadas en esta empresa de detergentes supusieron un impulso en mi carrera y me motivaron para desarrollar mi proyecto final de carrera.



## **2. La empresa, el producto y los departamentos de producción y empaque**

En el siguiente capítulo se da a conocer, en primer lugar, la empresa para la que se realizó dicho proyecto y la situación en la que se encuentra dentro del mercado.

También se explica, sin dar excesivo detalle (debido a temas de confidencialidad), el producto que se produce y su composición. Esta información es útil para conocer el por qué de la causa del problema.

Finalmente, se describe el proceso de fabricación del detergente en polvo, explicando así también el funcionamiento de los departamentos de producción y de empaque.

### **2.1. La empresa**

La empresa para la que se realiza el presente proyecto, cuyo nombre se mantiene oculto por razones de confidencialidad, es una multinacional de origen americano dedicada al sector del “gran consumo”. Fue fundada a finales del siglo XIX, convirtiéndose a fecha de hoy en una de las empresas líderes de dicho sector [2].

Existe una amplia gama de productos fabricados por esta empresa, la mayoría de ellos pertenecientes al ámbito de productos de limpieza o de aseo personal, como por ejemplo: detergentes, suavizantes, champús, cuchillas de afeitar, pañales, perfumes, etc. De entre todos éstos especialmente destaca el detergente en polvo, producto sobre el que hace referencia este proyecto.

En el mercado español existen muchas compañías que se dedican a la producción de detergentes en polvo, de entre las que destacan con diferencia las siguientes cuatro: Procter & Gamble, Henkel, Reckitt-Benckiser y Unilever.





En la figura 2.1 se muestran algunos productos pertenecientes al sector del "gran consumo", como son por ejemplo los productos de limpieza:



**Fig.2.1. Ejemplo de productos de limpieza.**

A pesar de la alta competencia y del auge que están experimentando las marcas blancas debido a la actual situación económica, la empresa para la que se hace este proyecto sigue poseyendo una posición de liderazgo, teniendo valores de venta muy elevados dentro de la cuota del mercado español.



## 2.2. El producto

Dentro de la amplia gama de productos que produce la empresa, este proyecto se centra únicamente en el detergente en polvo, ya que es éste el causante de la problemática del “Overpack & Scrap”. (Sobrellenado y poco llenado de cartones).

A continuación, se realiza una breve explicación con la que dar a entender qué es un detergente en polvo y cuál es su funcionamiento, es decir, cómo éstos son capaces de eliminar las manchas. También se enumeran los principales componentes que forman un detergente.

### 2.2.1. El detergente en polvo

El detergente en polvo puede definirse como una mezcla de diversas sustancias que acaban formando un polvo fino.

La característica principal de una molécula de detergente es que ésta es anfípata, es decir, que posee la doble condición de ser polar (hidrofílica) y no polar (hidrofóbica) [2, 3].

En la siguiente figura pueden observarse las dos partes que componen la estructura de un detergente:

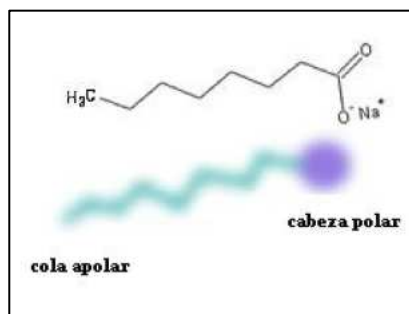


Fig.2.2. Estructura de un agente tenso activo [1].

- Por un lado se observa una cadena hidrocarbonada no soluble en agua, pero que tiene afinidad con las grasas, por lo que se la denomina cola lipofílica o liposoluble.
- Por el otro lado, un extremo iónico que tiene cargas eléctricas y tiende a disolverse en el agua. Éste es conocido como cabeza hidrofílica o hidrosoluble.



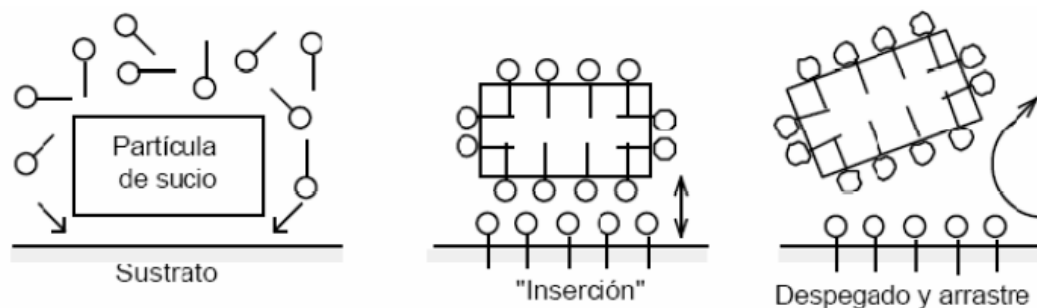
### 2.2.2. Funcionamiento de los detergentes

Cuando un objeto está sucio, casi siempre se debe a la adhesión de capas de grasa o aceite que a su vez contienen polvo y partículas extrañas. Si el objeto es lavado con agua no se elimina gran parte de la suciedad por falta de humectación de las manchas, debido a la alta tensión superficial que hay [1, 4].

Al añadir el detergente, éste se sitúa en la superficie de la disolución, disponiéndose la parte hidrófoba en el aire y la parte hidrofílica en el agua. Al ocupar estas moléculas de detergente parte del espacio del disolvente (agua), se consigue así reducir dicha tensión superficial. De ahí que el principal compuesto que compone un detergente reciba el nombre de tenso activo. Así pues, con la disminución de la tensión superficial no tan sólo se consigue mejorar el nivel de humectación de las manchas sino que además se genera espuma; siendo ambos elementos indispensables para que se produzca una limpieza eficaz.

Seguidamente, con la ayuda de acción mecánica, las partículas de detergente consiguen penetrar en la interfase sólido-grasa: la cola lipofílica es atraída hacia la mancha mientras que la cabeza hidrofílica lo está hacia la disolución, formando una película alrededor de la mancha.

De esta manera la mancha es despegada del sólido y arrastrada por el agua y la espuma, tal y como se muestra en la figura 2.3.



**Fig.2.3. Proceso de eliminación de una mancha [1].**

Con este mecanismo también se evita que las manchas se vuelvan a depositar sobre la superficie gracias a la repulsión que originan los grupos polares.



Es importante tener presente que hay varios factores que determinan las propiedades o la eficacia del lavado, como por ejemplo la concentración de detergente, el tipo de manchas, la dureza del agua o la temperatura.

En el mercado se encuentran cuatro tipos de detergentes sintéticos: [1, 2, 3]

- **Detergentes aniónicos:** éstos son los más comunes y contienen normalmente sulfatos de sodio. Destacan como más conocidos los LAS (alquilbencensulfonatos lineales), como el dodecilbenzeno sulforato sódico.
- **Detergentes catiónicos:** principalmente son compuestos cuaternarios de amonio. Destacan por su poder bactericida.
- **Detergentes no iónicos:** éstos son los más comunes. Son productos obtenidos mediante la condensación del óxido de etileno con materiales fenólicos o ácidos grasos.
- **Detergentes anfóteros:** generalmente se trata de aminas cuaternarias con grupos carboxílicos, sulfónicos o sulfatos. Son muy buenos emulsionantes y por tanto, se utilizan ampliamente en cosmética.
- **Detergentes biológicos:** éstos son aquellos que contienen enzimas para eliminar algunos tipos específicos de manchas de la ropa.

### 2.2.3. Composición de los detergentes

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el detergente en polvo puede definirse como una mezcla de diversas sustancias que acaban formando un polvo fino.

Es importante resaltar que lo que hace que un detergente funcione y sea eficaz contra las manchas es la combinación e interacción de los diferentes ingredientes que lo componen, ya que cada uno de ellos por separado no funcionaría correctamente.

También hay que tener en cuenta que dependiendo de las proporciones que se utilice de cada uno de estos compuestos, el detergente obtendrá una densidad, fluidez y viscosidad concreta, factores que afectarán de forma importante a los equipos que interaccionen con ellos.

Así pues, los principales bloques en los que se clasifican los ingredientes que componen un detergente en polvo son: [1, 2, 3, 4]



• **Surfactantes o agentes tenso activos:** son los “caballos de batalla” de los detergentes; éstos se ocupan de lo básico, del trabajo duro; es decir, de extraer la mancha. Constan de dos partes: una de ellas se une a la grasa mientras que la otra tira de la mancha hacia el agua, lejos de la tela.

• **Constructores:** dan soporte a los agentes tenso activos eliminando las partículas que dan dureza al agua. Éstas pueden desactivar muchos de los compuestos que componen un detergente; de aquí la gran utilidad que supone disminuir al máximo dicha dureza del agua.

De entre todos ellos destacan los polifosfatos, los carbonatos, los perboratos y los silicatos solubles, que además de ablandar el agua dificultan la oxidación de algunas sustancias.

• **Sustancias quelantes:** atrapan las partículas metálicas presentes en las manchas y en el agua, evitando que éstas se depositen sobre la tela.

• **Reguladores (“Buffer”):** son los encargados de establecer y mantener el pH adecuado durante todo el proceso de lavado. Proporcionan las condiciones de trabajo óptimas para que así el resto de los componentes del detergente sean capaces de funcionar al máximo rendimiento. Un ejemplo sería el carbonato sódico.

• **Sustancias blanqueadoras:** éstas decoloran las manchas. Impiden que la mancha absorba la luz visible, haciendo que pierda su color. La mancha permanece ahí pero no se ve. Un ejemplo sería el perborato sódico, que desprende oxígeno y actúa como blanqueante.

• **Sustancias abrillantadoras:** los abrillantadores ópticos mejoran el brillo de las prendas blancas haciendo invisible la luz visible.

• **Encimas:** éstas son un grupo de agentes limpiadores, teniendo cada una de ellas un objetivo muy bien definido, es decir, cada una de ellas elimina una mancha concreta. Las



encimas rompen las grandes manchas insolubles en pequeñas partículas solubles, las cuales son arrastradas por el agua o capturadas por otros componentes del detergente. Seguidamente, las encimas se auto-regeneran para atacar de nuevo a otras manchas.

- **Estabilizadores de espuma:** evitan que se forme excesiva espuma, lo que dañaría el electrodoméstico.

- **Polímeros:** evitan que las manchas se fijen de nuevo sobre la tela durante el lavado o bien cuando ésta se usa. También se utilizan para prevenir la pérdida de color de los tejidos.

Las proporciones en que los distintos componentes entran en la composición de un detergente medio podría ser de forma aproximada la siguiente:

**Tabla 2.1. Proporciones aproximadas de la composición de un detergente [5]**

Componente	Proporción (%)	Ejemplo
Agentes Tenso activos	20	surfactante aniónico
Constructores	15	polifosfato
Reguladores	15	silicato
Sustancias blanqueadoras	20	perborato sódico
Sustancias abrillantadoras	2	---
Encimas	0,5	proteasa
Estabilizadores de espuma	0,5	---
Polímeros	2	---
Agua	10	---
Otros	15	sulfato sódico



## 2.3. Proceso de elaboración. Departamentos de producción y empaque

La elaboración de un cartón o paquete de detergente en polvo es un largo proceso que se puede subdividir en dos partes: una primera realizada por el "departamento de producción", donde se fabrica propiamente el detergente; y una segunda parte de la que se encarga el "departamento de empaque", donde dicho detergente se envasa en cartones, se paletiza y se prepara para su posterior expedición al mercado. Seguidamente se describen estos dos departamentos:

### 2.3.1. Departamento de producción

Tal y como se ha mencionado recientemente, en este departamento es donde se realiza la elaboración del detergente en polvo. Este proceso se explica a continuación: [2]

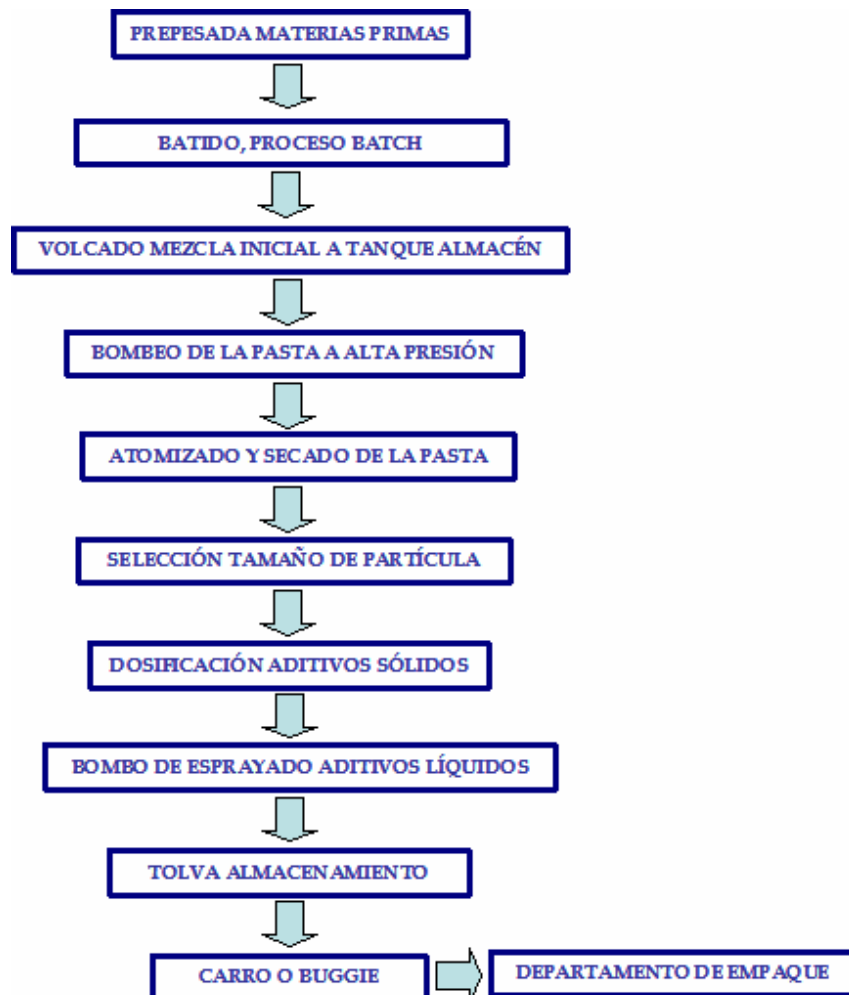


Fig.2.4. Esquema funcionamiento departamento de producción.



Tal y como se aprecia en la figura 2.5, en primer lugar, mediante pesadas se introducen las materias primas necesarias y agua (1) en un reactor batch (2), dónde se produce el detergente mediante agitación, trabajando con temperaturas del orden de 80°C. El producto obtenido es una pasta o masa viscosa, la cual, a medida que se va obteniendo, se vuelca en un tanque (3) dónde se almacena y se suministra según necesidad. Gracias a ello se consigue pasar de un proceso batch a un proceso en continuo.

Seguidamente se realiza la atomización: se bombea la pasta a alta presión (4) hacia una gran torre (5) donde, a su vez, se hace pasar a través de pequeñas boquillas de 0,17 pulgadas de diámetro. Gracias a ello la pasta es “rociada” o “atomizada” en forma de pequeñas gotas, las cuales van cayendo en contracorriente con aire caliente. El aire evapora el agua de la pasta formándose así el polvo de detergente (polvo base). El aire caliente que permite el secado de estas gotas viene proporcionado por un horno de gas natural, capaz de calentar el aire a temperaturas cercanas a los 350 °C.

Posteriormente se hace una selección del tamaño de partícula del polvo base mediante unos tamices o cedazos (6), que separan las partículas demasiado gruesas, dejando pasar únicamente aquellas con un tamaño óptimo para su consumo. El polvo de detergente válido se deposita a continuación en unas cintas, donde a medida que se va transportando se le van dosificando también aditivos sólidos (7), como por ejemplo enzimas, los cuales dependerán del tipo de detergente que se quiera obtener.

Esta mezcla de polvo base más aditivos va a parar a un tambor (8) donde se esprayen aditivos líquidos y perfumes. Cabe resaltar que éste gira constantemente con el fin de obtener una mezcla homogénea.

Finalmente el producto ya terminado se deposita en una tolva de almacenamiento (9), la cual posteriormente suministra el detergente en carros móviles o “buggies” (10), los cuales sirven tanto como para almacenar el producto como para llevarlo a las tolvas de las líneas de empaque. Éstos tienen una capacidad aproximada de hasta 2.000 Kg. de producto.

Es importante destacar que dicha fábrica se encuentra bien equipada con aspiradores, ya que el polvo puede provocar problemas de alergia o asma a los trabajadores. Especialmente se aplican estrictas medidas de seguridad en la zona donde se manipulan las enzimas, ya que éstas son muy peligrosas para el sistema respiratorio.





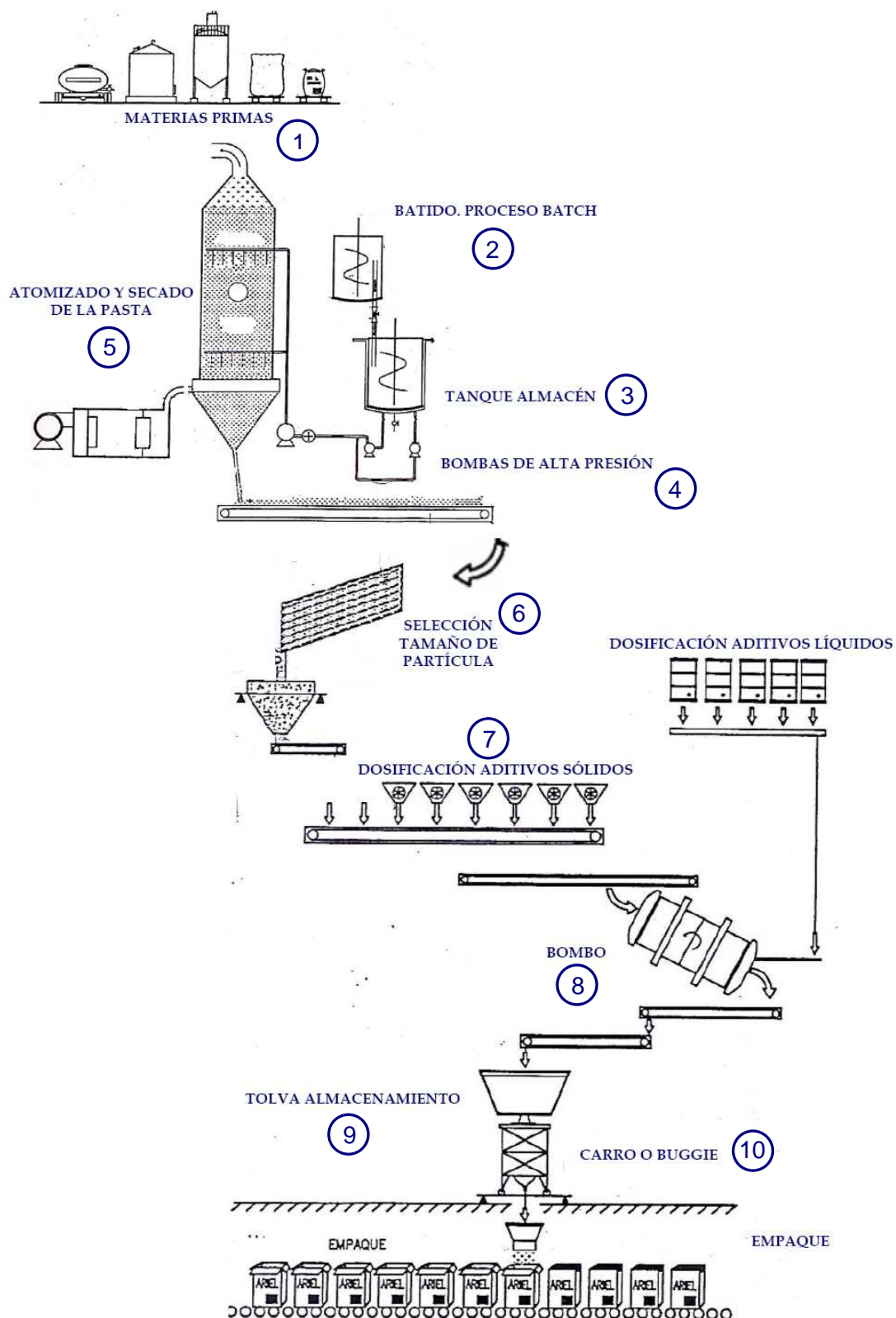


Fig.2.5. Representación del departamento de producción.



### 2.3.2. Departamento de empaque

Como se ha comentado con anterioridad, este departamento es el responsable de envasar el detergente y de prepararlo para su posterior expedición al mercado.

En él se encuentran diferentes líneas de producción para cubrir todos los formatos de cartones y bolsas que suministra la empresa.

Para los cartones, se diferencian diversos formatos de paquetes según las dimensiones del cartón y de su altura. Cada uno de ellos tiene una nomenclatura, la cual nos indica el nombre y la altura de cada paquete. Por ejemplo, *WB447* indica que el cartón tiene una altura de 447mm. A continuación también se expone el rango de pesos para cada formato [2] :

**Tabla 2.2. Rango de pesos para cada formato de cartón.**

<b>Formato de Cartón</b>	<b>Peso (Kg)</b>
MA	0.4 – 0.6
NL	0.6 – 1.0
PG	1.4 – 2.4
SO	2.5 - 4.0
WB	4.0 – 11.4

Es importante destacar que la problemática objeto del motivo de este proyecto solamente ocurre en las líneas de cartones, ya que éstas, a diferencia de las líneas de bolsas, realizan el llenado de los paquetes por volumen, no por peso, convirtiendo la densidad en un factor determinante.

Por todo ello este proyecto se centra únicamente en las líneas de empaque de cartones, prescindiendo de las de bolsas.



Así pues, a continuación se realiza una breve descripción de los equipos que conforman una línea de empaque de cartones:

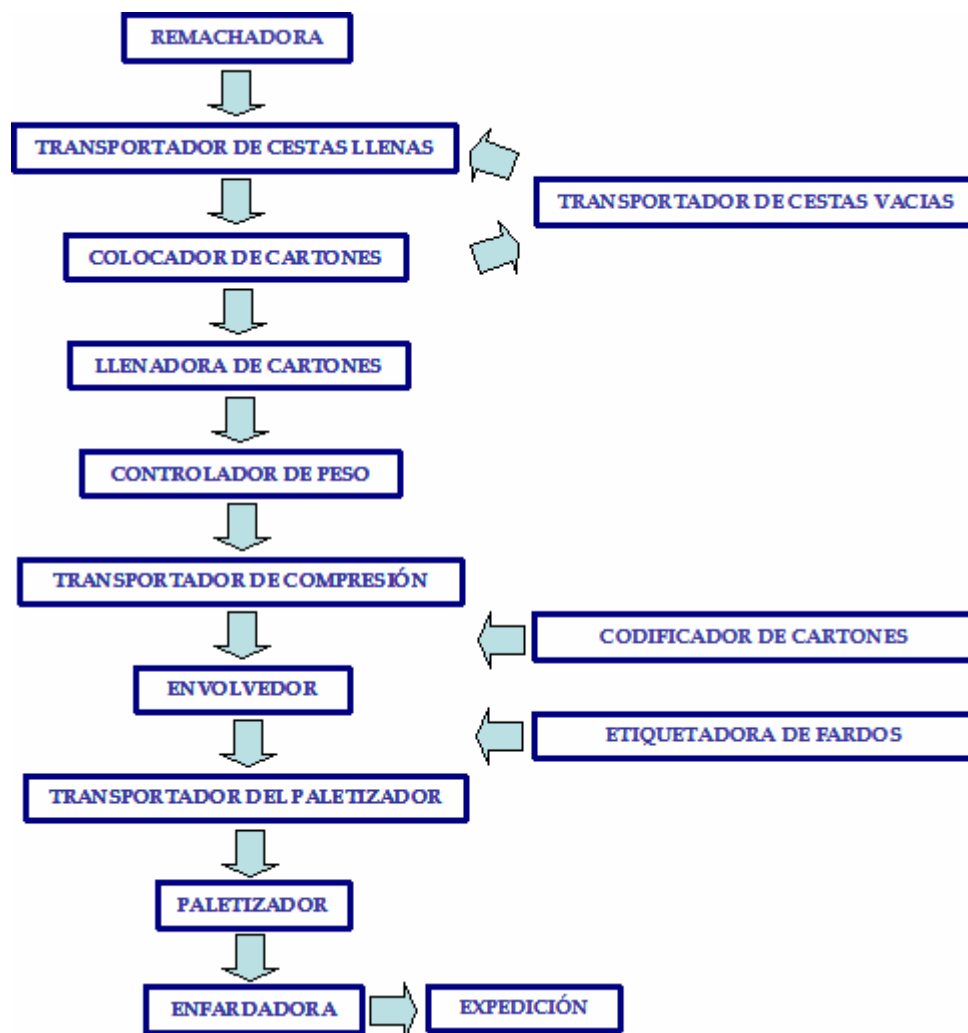


Fig.2.6. Esquema funcionamiento departamento de empaque.



- **Remachadoras:** existen algunos cartones que necesitan llevar asa y ésta no viene del proveedor. Las remachadoras son las encargadas de colocar dicha asa al cartón mediante dos remaches.
  
- **Transportador de cestas llenas:** los cartones caen dentro de unas cestas de madera que los transportan desde las remachadoras hasta la llenadora de cartones. Debido a su longitud estos transportadores también sirven como pulmones de acumulación de cartones en caso de parada de las remachadoras.
  
- **Colocador de cartones:** es un equipo que recoge los cartones de dentro de las cestas y los coloca de pie en el carro de alimentación de la llenadora de cartones. En este punto las cestas quedan vacías de cartones.
  
- **Transportador de cestas vacías:** es el equipo encargado de retornar las cestas ya vacías a las remachadoras cerrando el ciclo de cestas.
  
- **Llenadora de cartones:** es el equipo encargado de cerrar las solapas de los cartones por un extremo, llenar los cartones con el detergente adecuado y cerrar las solapas del otro extremo.
  
- **Controlador de peso o “Checkweigher”:** es un equipo que chequea el peso de todos los paquetes que salen de la llenadora y los rechaza siempre que sea necesario (normalmente por bajo peso). Además se encarga de corregir la tendencia del peso de los cartones hacia el valor nominal, es decir, procura siempre que los cartones tengan el peso que les corresponde.

Debido a la importancia de este equipo para este proyecto, en el apartado 4 se encuentra una descripción más detallada de su funcionamiento.



- **Transportador de compresión:** este equipo se encarga de mantener la presión necesaria para que las solapas del cartón queden en posición mientras se seca la cola.
- **Codificador de cartones:** este equipo asigna los datos necesarios a cada paquete para poder ser identificado posteriormente en caso necesario (requerimiento interno de trazabilidad).
- **Envolvedor:** es el encargado de formar el fardo (si es el caso) con plástico envolvente, dar el calor necesario (mediante un horno) y enfriar (mediante ventiladores) posteriormente para que se contraiga el plástico.
- **Etiquetadora de fardos:** es el equipo encargado de asignar los datos necesarios a cada fardo para poder ser identificado posteriormente en caso necesario (requerimiento interno de trazabilidad).
- **Transportador del paletizador:** está compuesto por diversas cintas transportadoras y mesas elevadoras que permiten salvar la distancia y obstáculos hasta llegar al paletizador. También por su longitud son pulmones de acumulación de cartones.
- **Paletizador:** es el equipo encargado de formar y posicionar los mantos de cartones encima del palet.
- **Enfardadora:** es el equipo que enfarda con plástico el palet formado para darle estabilidad.
- **Expedición:** a partir de este momento el palet sale del departamento de empaque y se expide. Este proceso queda fuera del alcance del presente proyecto.



### 3. Descripción del problema (“Overpack & Scrap”)

El propósito de este capítulo es hacer un análisis de la situación actual, es decir, describir cuál es el problema. Con ello, si se consigue entender bien qué es lo que ocurre, se conseguirá también encontrar el mejor método para solucionar dicha problemática.

#### 3.1. Situación inicial

Como consecuencia de la alta competencia existente dentro del mercado de los detergentes en polvo, las empresas que se dedican a este sector se ven obligadas a ofrecer productos cada vez más eficientes y económicos.

Es por todo ello que la empresa para la que se realiza este proyecto dispone de un departamento de “Investigación y Desarrollo”, en el que constantemente se formulan y estudian nuevas composiciones químicas con las que alcanzar dichos objetivos.

Así pues, tras muchos años de estudio, en 2007 se aplicó una variación en la formulación de los detergentes en polvo, con la que no tan sólo se obtuvo un producto más eficaz contra las manchas, sino que además el coste de las materias primas para su elaboración fue menor, dando así mayores beneficios a la empresa.

Sin embargo, a raíz de dicho cambio, se empiezan a detectar en todas las fábricas de esta compañía problemas durante el empaque de este nuevo producto.

Concretamente, la problemática principal se centra en el punto del llenado de los cartones: Se obtiene un elevado porcentaje de cartones con un peso por encima o por debajo del objetivo. Este fenómeno es conocido con el nombre de “Overpack & Scrap”.

Cuando se produce “Overpack”, se añade más detergente del que se debiera en el cartón, con lo que se podría decir que se regala producto al consumidor.

Por otro lado, cuando los cartones tienen un peso inferior al 3% del peso que tendrían que tener, por ley éstos no pueden ser vendidos. Eso significa que todos los cartones que tienen esta anomalía deben ser retirados de la línea de empaque y reciclados; es decir, se convierten en un coste adicional para la empresa, ya que tienen recuperar el detergente de cada paquete y posteriormente mandar a reciclar los cartones sobrantes. Es por todo ello que en estos casos, cuando los cartones tienen bajo peso, se dice que se produce un



"Scrap" (desecho). Todo ello implica pérdidas por un valor aproximado de varios miles de euros diarios.

Es importante destacar que a pesar del gran coste económico que produce el fenómeno del "Overpack & Scrap", los beneficios obtenidos por la empresa a raíz del cambio en la formulación del detergente son mucho mayores que dicho gasto. Esa es la razón por la que la dirección de la empresa decidió no modificar la composición química del detergente sino procurar buscar una solución a nivel de planta, con la que así minimizar el impacto de esta problemática en las líneas de empaque.

## **3.2. Metodología de trabajo**

Para estudiar la causa de este problema, se realiza un estudio detallado del sistema de producción. Para ello se desarrolla una metodología de trabajo específica, cuyos pasos se enumeran y describen a continuación:

### **3.2.1. "Focused Improvement"**

La metodología de trabajo utilizada es la conocida con el nombre de "Focused Improvement" [6]. Ésta se caracteriza por hacer un análisis exhaustivo de un sistema y realizar un conjunto de actividades con las que elevar el rendimiento de dicho sistema mediante la eliminación de limitaciones o anomalías.

Para poder distinguir los factores que producen estas limitaciones en el rendimiento del sistema se realiza un análisis "Why-Why". Éste consiste en una serie de preguntas "por qué" para conocer el "porqué" de la limitación. Para cada una de las respuestas que se obtengan en la primera pregunta se vuelve a preguntar "por qué" se pueden dar estas segundas. Y así sucesivamente hasta que la respuesta al "por qué" es evidente y se concluye cuál es la causa básica.



Volviendo a la metodología de trabajo “Focused Improvement”, cabe destacar que ésta consta de los siguientes pasos, tal y como se muestra en la figura 3.1:



Fig.3.1. Diagrama de pasos de la metodología “Focused Improvement”.

- **Paso 1 – Definición:** se describe cuál es la situación actual del sistema para poder así comprender la problemática a estudio. (Realizado en el apartado 3.1).
  
- **Paso 2 – Análisis:** se recogen los datos necesarios con los que definir y entender las necesidades del proyecto. Estos datos se analizan mediante pruebas y se aplica un “Why-Why” con el que esclarecer cuáles son las limitaciones o anomalías de nuestro sistema. (Apartado 4).
  
- **Paso 3 – Eliminación de anomalías:** en el caso de que se hayan dado indicios de la existencia de anomalías respecto a las condiciones nominales, éstas se resuelven y se vuelven a analizar los resultados antes de proseguir, para poder así descartar que el problema venga dado simplemente por dicha anomalía. (Apartado 5).





- **Paso 4 – Planificación de mejoras:** este paso consiste en la preparación de todas las mejoras que se pretenden implementar con el fin de eliminar la problemática. (Apartado 6).
  
- **Paso 5 – Implementación de mejoras:** se implementan y aplican los cambios o mejoras planificados con anterioridad. (Apartado 6).
  
- **Paso 6 – Comprobación de resultados:** se comprueba el buen funcionamiento de las ya mencionadas mejoras y se verifica que con ellas se hayan alcanzado los objetivos previamente propuestos. (Apartado 6).



## 4. Análisis de datos e identificación de las causas: segregación

Una vez descrita cuál es la situación actual, aparecen sospechas de que el foco del problema puede estar centrado en el punto de llenado de cartones.

Así pues, y siguiendo con los pasos fijados por la metodología de trabajo “focused improvement”, se realiza un análisis exhaustivo de todo el proceso de empaque.

Éste consiste, en primer lugar, en una descripción de la evolución del detergente a lo largo del proceso de empaque. También se recogen y analizan todos los datos necesarios con los que llegar a una idea clara de cuáles son las causas del problema.

### 4.1. Evolución del detergente

A continuación se presenta un esquema con el que entender la evolución del producto durante su empaque:

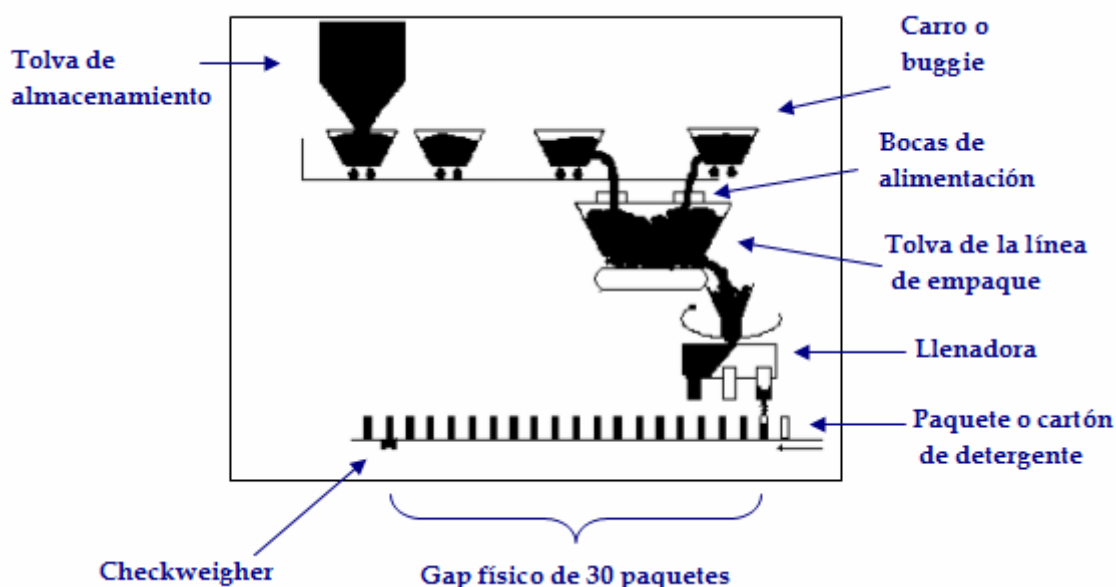


Fig. 4.1. Esquema del proceso de llenado de cartones.



Como podemos observar en la figura 4.1, el detergente en polvo pasa de la tolva de almacenamiento a los carros o buggies, y de éstos se hace llegar hasta las líneas de empaque, dónde una tolva se ocupa de retener el producto mientras la llenadora lo va introduciendo dentro de cada cartón o paquete.

Es muy importante mencionar que la llenadora dosifica el detergente por volumen, no por peso, siendo capaz de aumentar o disminuir la cantidad de detergente suministrado en función del peso de los paquetes que vaya comprobando el Checkweigher; es decir, si los paquetes tienen más peso del que debieran, el Checkweigher le manda una señal a la llenadora para que ésta suministre menos cantidad hasta alcanzar el peso objetivo y viceversa.

Es necesario recordar que, tal y como se ha comentado en el apartado 2.3.2, el Checkweigher es un equipo que chequea el peso de todos los paquetes que salen de la llenadora y los rechaza cuando es necesario (normalmente por bajo peso o por algún desperfecto en el cartón, no cuando hay sobrepeso). Además se encarga de corregir la tendencia del peso de los cartones hacia el valor nominal.

Sin embargo, tal y como se aprecia en la figura, por disposiciones del equipo existe un espacio (o gap) de treinta paquetes desde donde está el controlador de peso hasta donde la llenadora introduce el detergente dentro del cartón, con lo que si se produce una gran variación en la densidad del detergente, antes de que el Checkweigher detecte que los cartones tienen un peso que no es el adecuado, la llenadora ya habrá llenado treinta paquetes, lo que significa treinta paquetes no válidos o perdidos.

Es por todo ello que es imprescindible procurar que la densidad del detergente se mantenga en todo momento estable, ya que el controlador de peso es sólo efectivo con pequeñas variaciones de densidad.



## 4.2. Recopilación de datos

Con el fin de averiguar cuáles son los principales motivos por los que ocurre este problema, se realiza una exhaustiva recopilación de datos mediante tres dispositivos, tal y como se comenta a continuación:

- **Checkweigher:** este dispositivo imprescindible permite obtener el peso de cada uno de los paquetes que se producen.

- **Sistema de Adquisición de Datos:** éste es un software informático con el que se obtiene información de todas las producciones.

Gracias a una serie de sensores instalados en la línea y junto a los pesos de los cartones que obtiene del Checkweigher, este programa es capaz de presentar información de mucha utilidad, como por ejemplo el número de cartones que se han producido, el peso de cada uno de ellos, el número de paquetes rechazados, el porcentaje de overpack, etc. Se observa un ejemplo de ello en el apartado 4.2.1.

- **Células de Pesaje:** son pequeñas básculas ubicadas en los puntos de descarga de producto de los carros, con las que se obtiene el peso del carro durante todo su proceso de vaciado.



#### 4.2.1. Ejemplo del sistema de adquisición de datos

A continuación se exponen las figuras 4.2 y 4.3, con las que se muestra un ejemplo de los datos que ofrece el software del "sistema de adquisición de datos".

	A	B	D	E	F	G	H	I
1								
2								
3	Línea	2 Línea 6		Fecha inicio :	2008-8-1 19:16:24.78			
4	Fórmula	Higiene		Fecha fin :	2008-8-1 21:3:37.4			
5	Formato	WB500						
6	Cod.Marca	81075011						
7								
8	Nº Cartones	766		Buggy average density		657,233		
9	Peso setpoint			Cal. Avg box density		653,294		
10	Peso target	10000		Calculated stdev density		85,076		
11	Peso medio obtenido	11435,144						
12	Stdv peso	336,99		Peso carros		1959	1750	
13	OverPack(%)	1,147				1973	1932	
14	TU1%	0				1983		
15	TU2%	1,697						
16	Altura promedio de la cabeza	227,35						
17	Rango promedio	184,102						
18	Cartones rechazados por oreja	0						
19	Cartones rechazados por solapa	0						
20	Cartones rechazados por cola seca	12						
21	Cartones rechazados por volcado	0						
22	Cartones rechazados por vaciado línea	0						
23	Cartones rechazados por bajo peso	13						
24	Bingos downtime							

Fig.4.2. Ejemplo de datos ofrecidos por el Sistema de Adquisición de Datos.

En esta figura se puede apreciar como el software, mediante un fichero "Excel", ofrece información sobre la producción realizada, así como el número de cartones elaborados, su peso objetivo, su peso promedio, el % de Overpack ocurrido, el número de cartones rechazados por defectos en la oreja, la solapa, la cola, etc.

Se observa como en este ejemplo, mientras el peso objetivo de los cartones es de 10.000g, se obtiene un peso promedio de 11.435 g aproximadamente, indicando que se ha producido un overpack del 1,147%.



En la figura 4.3. Se muestra un ejemplo de los datos, cartón a cartón, que captura el software, datos con los que éste es capaz de hacer sus respectivos cálculos y con los que posteriormente se realizan muchos de los estudios y análisis del apartado 4.3. Cabe mencionar que los datos que se obtienen son tan numerosos que no se pueden plasmar completamente. Esta figura sólo representa una pequeña porción de los datos obtenidos.

	N	O	V	AD	AF	AG	AL	AO	AP	AQ
1	PESO_PAQUETE ▼	PESO_TARGET ▼	FECHA ▼	PESO_CARRO_I ▼	PESO_CARF ▼	FORMATC ▼	DENSIDAD ▼	TU1Peso ▼	TU2Peso ▼	
395	11399	11500	2008-8-1 19:43:0.25	1983	1932	WB500	668,10544	9850	11155	0
396	11390	11500	2008-8-1 19:43:1.60	1983	1932	WB500	667,57794	9850	11155	0
397	11353	11500	2008-8-1 19:43:3.0	1983	1932	WB500	658,97084	9850	11155	0
398	11420	11500	2008-8-1 19:43:4.35	1983	1932	WB500	662,85977	9850	11155	0
399	11285	11500	2008-8-1 19:43:5.72	1983	1932	WB500	661,4238	9850	11155	0
400	11298	11500	2008-8-1 19:43:7.4	1983	1932	WB500	662,18574	9850	11155	0
401	11369	11500	2008-8-1 19:43:8.37	1983	1932	WB500	666,34711	9850	11155	0
402	11220	11500	2008-8-1 19:43:9.78	1983	1932	WB500	657,61409	9850	11155	0
403	11344	11500	2008-8-1 19:43:11.12	1983	1932	WB500	664,88184	9850	11155	0
404	11317	11500	2008-8-1 19:43:12.44	1983	1932	WB500	663,29935	9850	11155	0
405	11269	11500	2008-8-1 19:43:13.85	1983	1932	WB500	654,09516	9850	11155	0
406	11167	11500	2008-8-1 19:43:15.19	1983	1932	WB500	648,1747	9850	11155	0
407	11211	11500	2008-8-1 19:43:16.53	1983	1932	WB500	644,49252	9850	11155	0
408	11096	11500	2008-8-1 19:43:17.88	1983	1932	WB500	637,88145	9850	11155	1
409	11143	11500	2008-8-1 19:43:19.19	1983	1932	WB500	640,58337	9850	11155	1
410	11204	11500	2008-8-1 19:43:20.59	1983	1932	WB500	644,0901	9850	11155	0
411	11081	11500	2008-8-1 19:43:20.59	1983	1932		637,01914	9850	11155	1
412	11178	11500	2008-8-1 19:43:23.25	1983	1932	WB500	639,53103	9850	11155	0
413	11131	11500	2008-8-1 19:43:24.66	1983	1932	WB500	636,842	9850	11155	1
414	11152	11500	2008-8-1 19:43:26.3	1983	1932	WB500	638,04348	9850	11155	1
415	11098	11500	2008-8-1 19:43:27.34	1983	1932	WB500	628,95525	9850	11155	1
416	11208	11500	2008-8-1 19:43:28.72	1983	1932	WB500	629,2445	9850	11155	0
417	11065	11500	2008-8-1 19:43:30.7	1983	1932	WB500	627,08505	9850	11155	1
418	11088	11500	2008-8-1 19:43:31.44	1983	1932	WB500	628,38853	9850	11155	1
419	11172	11500	2008-8-1 19:43:32.78	1983	1932	WB500	633,14905	9850	11155	0
420	10997	11500	2008-8-1 19:43:34.13	1983	1932	WB500	623,2313	9850	11155	1
421	11090	11500	2008-8-1 19:47:13.44	1983	1932	WB500	608,38494	9850	11155	1
422	11082	11500	2008-8-1 19:47:23.47	1983	1932	WB500	619,27265	9850	11155	1
423	10980	11500	2008-8-1 19:47:24.83	1983	1932	WB500	613,5728	9850	11155	1
424	11074	11500	2008-8-1 19:47:26.16	1983	1932	WB500	613,11417	9850	11155	1
425	10982	11500	2008-8-1 19:47:27.51	1983	1932	WB500	613,68456	9850	11155	1
426	11046	11500	2008-8-1 19:47:28.88	1983	1932	WB500	617,26094	9850	11155	1

**Fig.4.3. Ejemplo de datos, paquete a paquete, que ofrece el Sistema de Adquisición de Datos.**

La figura muestra distinta información para cada uno de los cartones que se han fabricado, como por ejemplo el peso del paquete, el peso objetivo, la fecha de elaboración, la densidad, el formato del cartón, etc. Se muestra también de color amarillo los paquetes que han sido rechazados por bajo peso ("Scrap"). Se aprecia el gran número de cartones rechazados, demostrando así un ejemplo de la problemática del "Overpack & Scrap".



### 4.3. Análisis de los datos

El objetivo del análisis de los datos es esclarecer el motivo real por el que se produce el fenómeno del Overpack & Scrap.

Como se ha descrito con anterioridad, existen sospechas de que el causante de todo ello son variaciones importantes en la densidad del producto; sin embargo, es necesario demostrar mediante los datos y mediante pruebas que ésta sea el verdadero motivo de esta problemática.

Es importante mencionar que, debido a la gran cantidad de líneas de empaque que hay en la planta y de detergentes que se fabrican, se tiene que acotar el estudio a la línea más conflictiva y a las producciones del detergente que da más problemas.

Así pues, en primer lugar, se hace un estudio de los datos ofrecidos por el "sistema de adquisición de datos".

De entre la amplia información que éste ofrece, un dato importante es que detecta si los paquetes son rechazados por algún defecto en el cartón, como por ejemplo que éste tenga alguna solapa rota, o que la cola no haya pegado bien dos extremos del paquete, o que éste este aplastado, etc.

Gracias a ello se puede determinar el porcentaje de rechazos producidos por culpa del propio proceso de empaque o por otros factores.

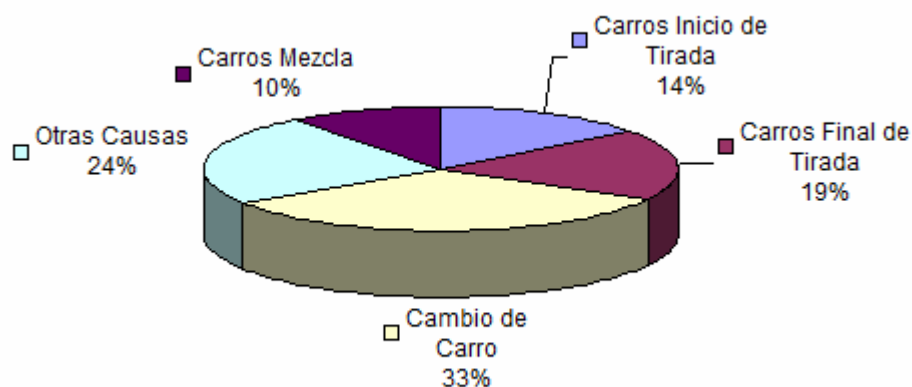
Se recopilan los datos de todos los rechazos de cartones producidos del 04 al 18 de julio del 2008 (cerca de dos mil). Tal y como se aprecia en la figura 4.4, se observa que solamente un 16% de todos ellos se deben a problemas del proceso de empaque: cartones rotos, problemas con la cola, atascos de cartón, etc.



Fig.4.4. Porcentaje de rechazos debidos al proceso de empaque.



En cuanto al resto de rechazos (84%), se continúa realizando el estudio de los datos ofrecidos por el sistema de adquisición de datos, utilizando también la fecha y hora en la que se produjeron los rechazos, y relacionando todo ello con los carros; es decir, se consigue predecir en qué carro o buggie se encuentra el detergente que posteriormente provoca un rechazo del cartón, obteniendo los resultados expuestos en la siguiente figura:



**Fig.4.5. Clasificación de rechazos de cartones debidos a causas ajenas al proceso de empaque.**

La fábrica en estudio produce distintas marcas de detergentes, cada una de ellas de composiciones distintas. Es por ello que durante el proceso de producción, cada vez que se cambia la marca del detergente a fabricar, el producto obtenido al principio es una mezcla entre la composición que se pretende producir y la que se estaba haciendo con anterioridad. Así pues, los carros de inicio o final de tirada son aquellos carros que contienen un detergente mezcla de la composición de dos marcas distintas, con lo que el producto de éstos acostumbra a tener variaciones importantes en su densidad, dando así Overpack & Scrap durante su empaque.

Los carros mezcla (10%) son aquellos que contienen detergente que durante su producción tienen algún tipo de anomalía, dando así posibles problemas. También se observa en la figura 4.5 que un 33% de los rechazos producidos ocurren durante el “cambio de carro”.

Como se explicó en el apartado 2.3.1, el detergente una vez terminado se deposita dentro de los carros o buggies (cada uno de ellos de unos 2000 Kg de capacidad), y estos luego vuelcan el producto en una boca la cual lo conduce hacia la tolva de la línea de empaque.





Para evitar que se corte el suministro de detergente a dicha tolva, existen dos bocas de entrada para cada línea. Primero un carro se deposita en la primera boca y empieza a volcar el producto. Cuando está a punto de vaciarse, otro carro que de mientras se ha colocado en la segunda boca se abre. Seguidamente, se retira el primer carro ya vacío y se sustituye por otro de lleno. Este proceso, llamado como "cambio de carro", se repite continuamente evitando así que se corte el suministro de detergente a la tolva.

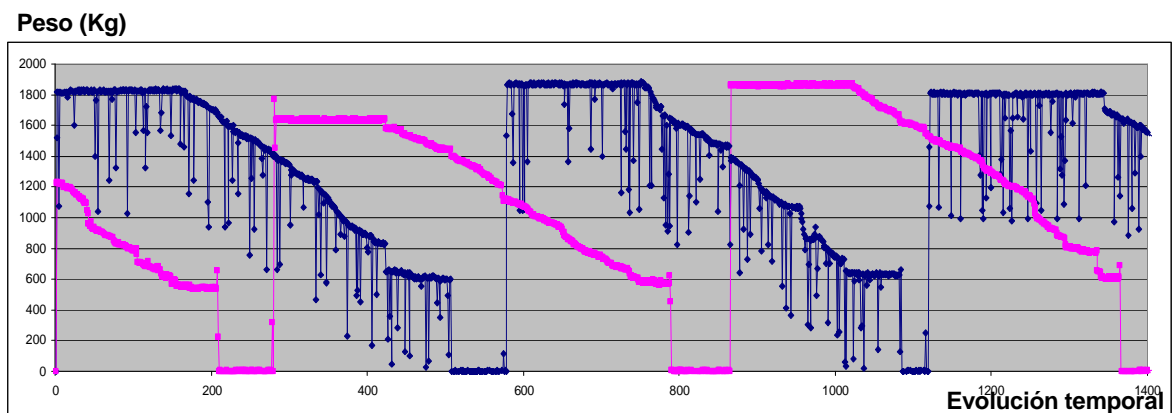
Finalmente, se aprecia que un 24% de los cartones rechazados se encuentran como "otras causas", bien porqué no se puede esclarecer el por qué fue rechazado o bien porqué el motivo de su rechazo no pertenece a ninguna de las categorías anteriormente nombradas.

Gracias a toda esta información se demuestra que la problemática, a pesar de sucederse en el departamento de empaque, se debe principalmente a causas ajenas a éste. El problema se centra durante la producción del detergente.

Debido a que los rechazos de cartones provenientes de carros de inicio o fin de tirada o de carros mezcla, son rechazos que no se pueden erradicar debido al proceso de esta fábrica, el estudio se centra en el análisis de los rechazos ocurridos por culpa del ya mencionado "cambio de carro", que tal y como se observa en la figura 4.5 se corresponden a un 33% de los rechazos totales. Es importante mencionar que, aunque no se puede demostrar, se sospecha que un alto porcentaje de los rechazos correspondientes a la categoría de "otras causas", también es consecuencia del fenómeno "cambio de carro".

Así pues, con el fin de conocer mejor la evolución del proceso durante el "cambio de carro", se instala en las bocas donde los carros descargan el detergente de la línea más conflictiva, unas "células de pesaje".

Tal y como se menciona en el apartado 4.2, las células de pesaje son básculas con las que se obtiene el peso del carro durante todo su proceso de vaciado. Gracias a ellas se obtienen gráficas como la mostrada en la figura 4.6:



**Fig.4.6. Ejemplo del "cambio de carro" mediante células de pesaje.**



Esta figura nos muestra el peso del carro durante su vaciado. La línea azul se corresponde con el peso del carro que se ubica en una de las bocas; la línea morada representa el peso del carro que se sitúa sobre la segunda boca. El eje de las Y nos indica los Kg y el de las X muestra una evolución temporal sin unidades.

Prestando atención tan sólo en la línea azul, se observa que inicialmente se encuentra el carro situado encima de la boca pero que aún no lo han empezado a descargar. El peso del carro más el detergente es de unos 1.800 Kg. Pasado cierto tiempo vemos que la línea empieza a disminuir, mostrando que el carro empieza ya a suministrar detergente a la tolva de la línea de empaque. Cuando el peso alcanza los 600 Kg aproximadamente, este se estabiliza, lo que significa que el carro se encuentra vacío, ya que el peso del carro vacío es justamente éste. De repente, el peso pasa a cero durante un tiempo e instantáneamente vuelve a subir por encima de los 1.800 Kg. Esto se debe a que como se encuentra ya el carro vacío lo retiran (peso 0 Kg), y hasta que no insertan un nuevo carro lleno de detergente el valor de la célula de pesaje no vuelve a subir. (1.800 Kg. aproximadamente).

Este procedimiento se va repitiendo constantemente, tanto para la línea azul como para la morada. Si nos fijamos bien, se aprecia que un carro no empieza a descargar producto hasta que el otro no se encuentra prácticamente vacío, consiguiendo así un flujo constante de detergente hacia la tolva de la línea de empaque.

Este momento en el que se abre un carro justo antes de vaciarse el otro es el fenómeno que se conoce como “cambio de carro”, tal y como se ha comentado con anterioridad. Se ve también, y solamente para la línea azul, que constantemente aparecen puntos por debajo de la línea de tendencia; esto se debe a ruido por culpa de una mala instalación de la célula de pesaje. Todos estos valores erróneos no se consideran para el estudio.

A continuación se muestra un ejemplo de la evolución de peso de cartones para una producción en la línea de empaque más conflictiva:

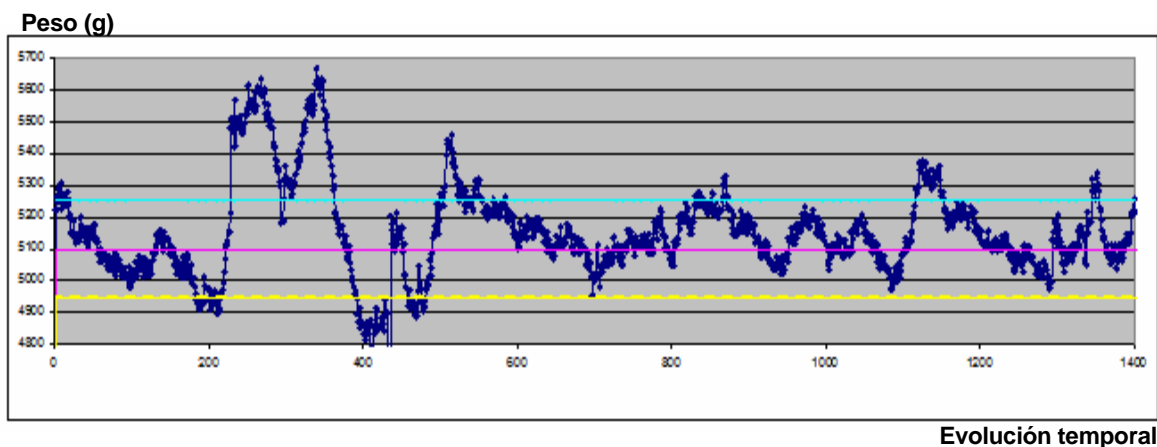


Figura 4.7. Ejemplo evolución de peso de cartones.



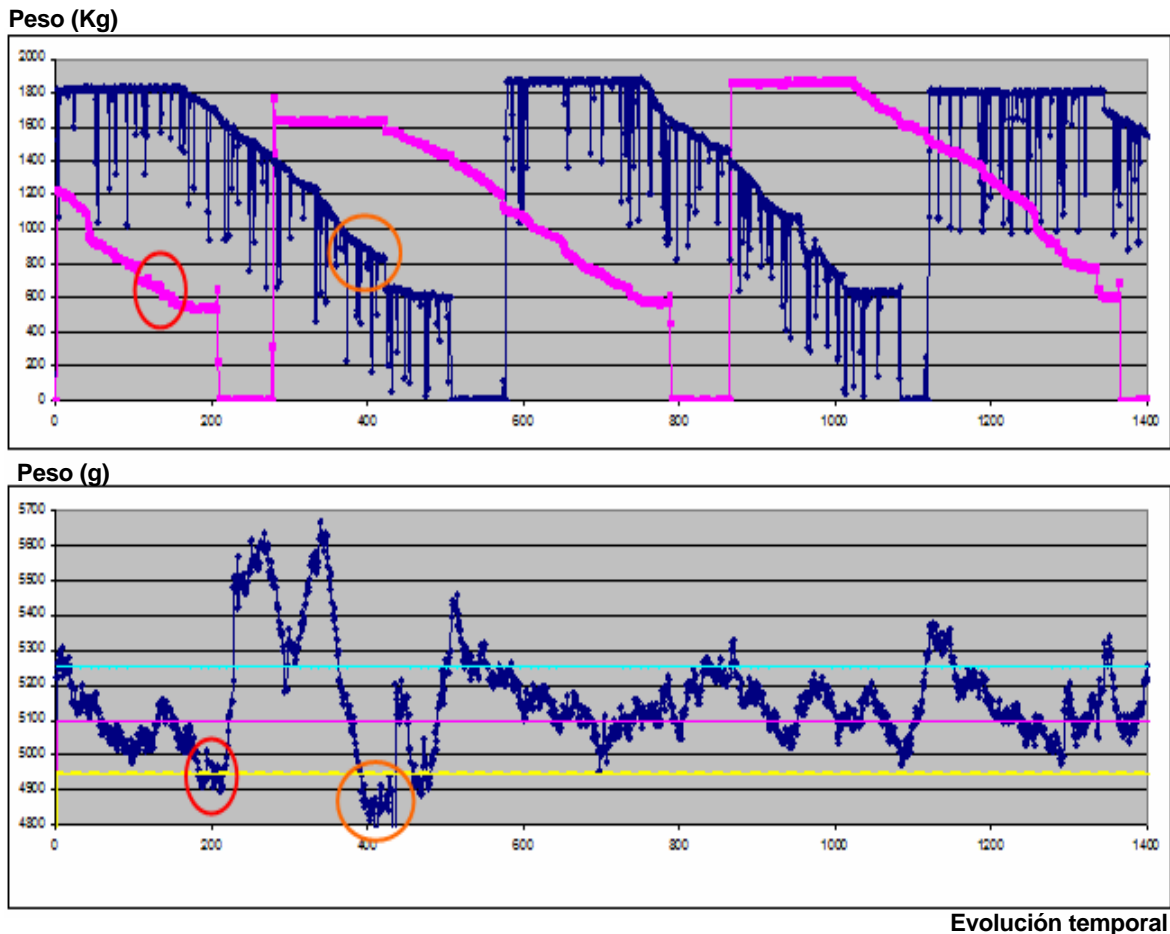
Esta figura 4.7, obtenida gracias a la información obtenida por el sistema de adquisición de datos y por el checkweigher, indica en el eje de las Y el peso en g de cada cartón, y en el eje de las X el número de paquetes.

La línea morada muestra el peso objetivo o peso target que se desea que tengan los cartones. Las líneas azul y amarillo representan respectivamente el máximo y el mínimo de sobrepeso o de "poco peso" que el paquete puede tener sin que se considere Overpack o Scrap. Éstos valores son un 3% por encima o por debajo del valor del peso target. Tal y como se comenta con anterioridad, si el peso del cartón se encuentra por debajo de este 3% del peso objetivo (línea amarilla), automáticamente el checkweigher rechazará el cartón de la línea de empaque.

Se aprecia pues con claridad que en el tramo de 200 a 500 (evolución temporal) se produce el fenómeno de Overpack & Scrap. Se observa que en algunos paquetes llega a haber un sobrellenado de hasta más de medio kilo de detergente del que debiera. También se aprecia que se pueden llegar a rechazar hasta más de 30 cartones seguidos por culpa del bajo peso de éstos.



Estudiando conjuntamente las gráficas de las figuras 11 y 12 se consigue relacionar en que momento durante la descarga del carro se produce el Overpack & Scrap, ocurriendo éste principalmente durante el “cambio de carro”, tal y como se muestra en la figura 4.8:



**Fig.4.8. Ejemplo de Overpack y Scrap producido por el “cambio de carro”.**

Observando los círculos rojos de esta figura, vemos que el detergente que se encontraba al final del carro, es el mismo que más adelante, a la hora de empaquetar, produce un gran número de rechazos de cartones por bajo peso. (Scrap). Lo mismo ocurre con los círculos de color naranja.

También se aprecia que el detergente que proviene del inicio de cada carro, es un producto que durante su empaque produce cartones con sobrepeso. (Overpack).



Así pues, se distingue que la línea de tendencia seguida cada vez que se inicia la descarga de un carro es de paquetes con un peso muy elevado al principio, el cual va disminuyendo progresivamente a la vez que se va vaciando el carro.

Aunque éste es un fenómeno que no se repite con la misma intensidad en todos los carros, suele ocurrir en un gran porcentaje de ellos.

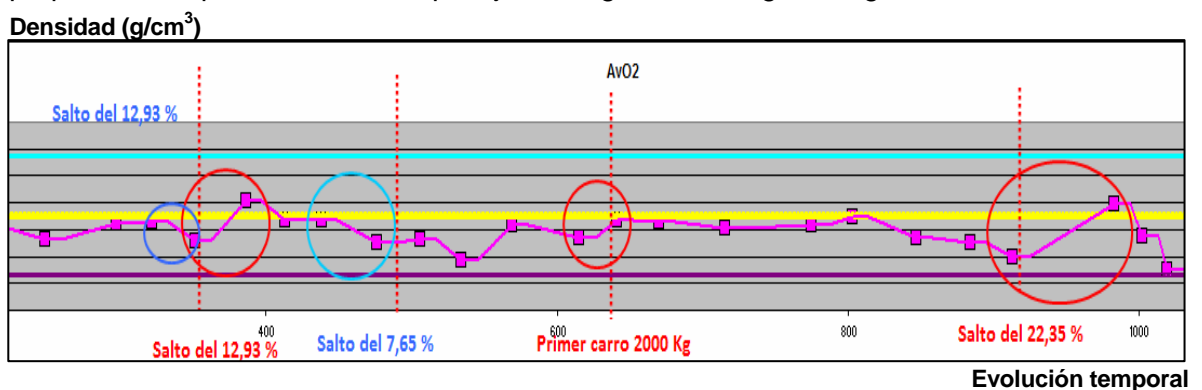
Es importante mencionar que existe cierto desfase de tiempo desde que el detergente sale del carro hasta que pasa por el checkweigher, (dependiendo de la velocidad que esté llevando la línea de empaque durante su funcionamiento); es por ello que los círculos representados en la figura 4.8 no se encuentran perfectamente alineados en el eje de las X.

Con toda esta información recopilada y analizada, y especialmente viendo la evolución del peso de los paquetes observada en la figura 4.8, se sospecha que la causa de toda esta problemática viene dada por grandes saltos en la densidad del producto, producida principalmente por un fenómeno de segregación.

Finalmente, para demostrar que realmente se trata de variaciones en la densidad del producto ocurridas por segregación, se realiza una prueba donde para una producción, se procede a extraer cada medio minuto un cartón, hasta alcanzar un total de 40 paquetes.

Posteriormente dichos paquetes se llevan a analizar, obteniendo en cada uno de ellos su densidad y su concentración de aditivos.

Al igual que se hizo en la figura 4.8, todos estos valores se relaciona con la información proporcionada por las células de pesaje, consiguiendo la siguiente gráfica:



**Fig.4.9. Estudio variación de densidad durante el "cambio de carro".**



En esta figura se muestra el valor de la densidad obtenida para cada paquete. Las líneas rojas verticales discontinuas representan la apertura de un carro.

Se aprecia un comportamiento parecido en todos los carros: al comienzo del carro el valor de la densidad crece con un salto, mientras que al final de éste el valor tiende a disminuir.

Además se calcula también la variación en cuanto a la concentración de aditivos en cada punto, observándose variaciones del orden de un 10 % en los “cambios de carro”. Esto significa que la concentración de aditivos al final de los carros es muy inferior a la que hay en cuanto éstos empiezan a descargar el producto.

Con todo ello se demuestra no tan sólo que se producen variaciones en la densidad del detergente durante el cambio de carro, sino que además éstas se deben por la segregación de los aditivos. Así pues, la problemática viene dada por segregación, fenómeno explicado en el apartado 4.4.



## 4.4. Segregación

A lo largo de todo este proyecto se realiza un arduo esfuerzo para, en primer lugar, entender cuál es exactamente la problemática. A continuación se consigue recopilar gran cantidad de información con la que es posible entender el proceso y concretar el origen o el motivo real por el que se sucede el sobrellenado o el mal llenado de los paquetes de detergente, es decir, se esclarece el por qué de la aparición de "Overpack & Scrap".

Así pues, tras demostrar que la segregación del detergente es el causante del problema, este apartado pretende explicar qué es este fenómeno, en qué consiste, describir los distintos mecanismos que causan dichos procesos de segregación y destacar los efectos y problemas que originan.

### 4.4.1. Teoría de segregación

La segregación se define como un proceso de separación involuntaria de las fracciones de sólidos en polvo o a granel, que antes se encontraban más homogéneamente distribuidos a través de la masa del material [7,8].

En muchos de los procesos industriales en los que se manipulan sólidos en polvo, es preciso mantener intactas determinadas características del producto durante todo el proceso para lograr la calidad exigida en el producto final.

Algunos de los problemas más comunes en relación con la calidad del producto final son consecuencia de la segregación o desmezcla del material.

La aparición de este fenómeno así como su magnitud, depende tanto de la técnica de manipulación como de las características físicas del producto a manejar (tamaño, forma y densidad). Un material es tanto más propenso a sufrir segregación durante su manipulación cuanto mayor sea la gama de tamaños de las partículas de que se compone o también se da mayor segregación cuanto mayor sea la diferencia entre las densidades de los componentes que forman la mezcla o cuanto mayor sea la diferencia entre sus formas.



Así pues, según todo ello, distinguimos tres tipos de segregación, en función de las diferencias de las propiedades físicas de los componentes del producto:

- **Segregación por tamaño:** Se considera que un material en polvo ha sufrido un proceso de segregación por tamaño cuando presenta variaciones importantes en la distribución del tamaño de las partículas que lo componen. Por diferentes motivos, las partículas de mayor tamaño se han separado de las partículas menos gruesas (finos), dando lugar a una mezcla no homogénea del producto.
- **Segregación por forma:** cuando el producto presenta variaciones importantes en la distribución de la forma de las partículas que lo componen, se denomina segregación por forma. Las partículas más redondeadas se han separado de las partículas con formas más planas.
- **Segregación por densidad:** finalmente, si en una mezcla de diferentes productos, el componente más denso se ha separado del componente menos denso presentando variaciones importantes en la distribución de la composición, hablaremos de segregación por densidad.

Es ésta última justamente el tipo de segregación ocurrida en nuestra empresa, siendo el polvo base y los aditivos del detergente los componentes con distintas densidades.

Es evidente que las técnicas que emplean la mayoría de los sistemas de manipulación de sólidos a granel pueden, en mayor o menor medida, producir segregación. Así, el fenómeno de la segregación puede aparecer tanto en los procesos de transporte como en los de carga y vaciado de silos de almacenamiento y tolvas de consumo.





#### 4.4.2. Mecanismos de segregación

Se conoce con este nombre a todos aquellos procesos o situaciones que pueden producir segregación.

Existe gran variedad de mecanismos causantes de dicho fenómeno, pudiéndose todos ellos catalogar en dos clases: aquéllos que se suceden por interacción entre partículas y los que ocurren cuando las partículas se mueven bajo la influencia de fuerzas externas.

A continuación, se describen los principales mecanismos responsables de los problemas de segregación de partículas: "Filtración y percolación", "trayectoria, caída libre o free fall", "fluidización, elutriación" y "carga y descarga de silos" [7, 9, 10].

##### - Filtración y Percolación

La "filtración" o "sifting" es el mecanismo más común por el que las partículas segregan. Se puede describir de manera simple como el movimiento de partículas pequeñas a través de una mezcla de partículas más grandes.

Para que este fenómeno ocurra, es necesario que se produzcan simultáneamente las siguientes cuatro condiciones:

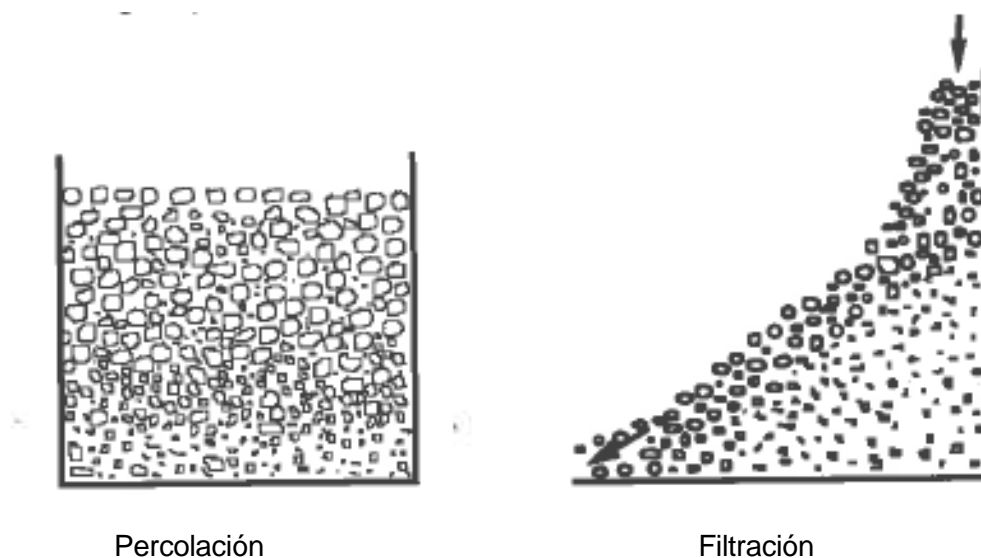
- Debe existir una diferencia significativa entre el tamaño de las partículas.
- El tamaño de éstas debe ser superior a 500  $\mu\text{m}$ . Diferentes estudios muestran que con partículas con diámetros inferiores al citado, la tendencia a segregar por filtración decrece substancialmente.
- Es necesario que no se formen aglomeraciones del producto, tanto entre partículas del mismo tamaño como de distintos.



- Movimiento interparticular: si las partículas son estacionarias o se mueven con una velocidad uniforme, su tendencia a segregar es prácticamente inexistente. Es por ello necesario la presencia de un gradiente de velocidad a través del flujo de material.

La “percolación” es también uno de los mecanismos más comunes de segregación. Es muy parecido a la filtración, diferenciándose únicamente de ésta porqué el proceso ocurre en una cama estática (tolvas, contenedores, etc), mientras que la filtración se sucede un lecho dinámico, así como en la superficie de corrientes, en toboganes, en pilas inclinadas, etc.

En la figura 4.10 apreciamos con claridad un ejemplo de percolación y de filtración.



**Fig.4.10. Ejemplo de percolación y de filtración [7].**

La eficiencia con la que estos procesos actúen depende de muchos factores relacionados tanto con las propiedades de las partículas como del sistema en el que se suceden. Condiciones como una gran distribución del tamaño de partícula, una baja fricción de la superficie o un sistema con agitación, favorecen a la penetración de las fracciones pequeñas a través de las grandes. Es por ello necesario eliminar o minimizar estas premisas del sistema para poder así evitar la segregación tanto por filtración como por percolación.



### • Trayectoria. Caída libre o "free fall"

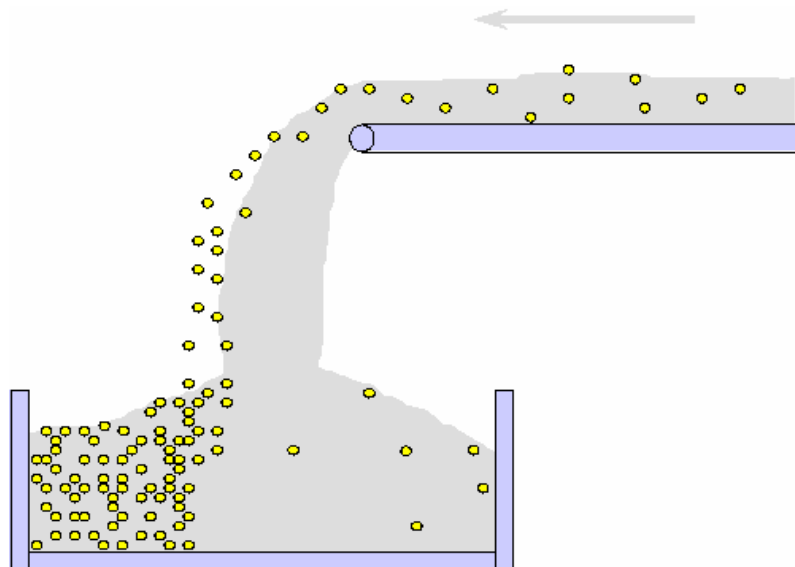
La trayectoria en la que se desplace el producto es también uno de los principales mecanismos causante de la segregación. Un ejemplo de ello es el fenómeno conocido con el nombre de caída libre o "free fall".

Cuando el material cae libremente se encuentra afectado tanto por la gravedad como por la resistencia del aire. El efecto de esto último depende principalmente de la dirección en la que cae y de la forma y densidad de las partículas.

Tal y como se ha visto en este mismo apartado anteriormente, a través de un fenómeno de filtración o de percolación, las partículas más pequeñas tienen tendencia a depositarse en la parte inferior de la mezcla, ubicándose cerca de la superficie del conducto o tobogán sobre el que se desplazan, dejando así a las partículas más grandes en la parte superior de la mezcla.

Es importante también citar que las partículas más pequeñas y/o aquellas que son más irregulares en su forma típicamente tienen una mayor fricción con la superficie.

Es por todo ello que cuando en un proceso ocurre una caída libre, ésta se produce de tal manera que las partículas más pequeñas caen cerca del conducto, mientras que las partículas más gruesas se depositan más lejos, tal y como se aprecia en la figura 4.11.

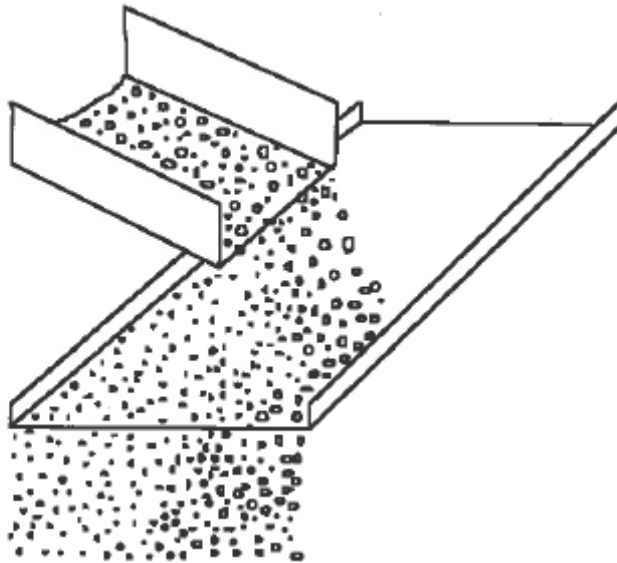


**Fig.4.11. Segregación por trayectoria en caída libre.**



Así pues, debido a que las partículas finas tienen mayor fricción con la superficie, su trayectoria es más corta que la de las partículas gruesas, haciendo que se depositen más cerca del conducto tras su caída libre.

Otro ejemplo común de segregación por caída libre ocurre cuando un conducto o cinta transportadora deposita el producto en otra superficie en la que la dirección del movimiento es distinta. Observemos un ejemplo de ello en la siguiente figura:



**Fig.4.12. Ejemplo de segregación por caída libre en cintas con distintas direcciones. [7].**

En este caso, también se produce segregación ya que la composición del producto varia dependiendo de cómo las distintas fracciones que componen la mezcla se repartan sobre la superficie, según se deslicen o rueden sobre ésta.



### · Fluidización. Elutriación

Otro mecanismo de segregación, se explica por lo ocurrido por la acción combinada de dos fenómenos, la fluidización y la elutriación.

Las partículas finas generalmente tienen menor permeabilidad que las partículas gruesas. Como consecuencia de ello tienden a retener más aire en sus espacios huecos. Así pues, cuando una mezcla de finos y de partículas gruesas se carga en un contenedor o tolva, es usual que se suceda una segregación vertical, ocurrida porque las partículas gruesas se depositan en la base del contenedor mientras que las finas permanecen fluidizadas o suspendidas cerca de la superficie.

Además, durante dicho proceso de carga se pueden producir ciertas corrientes de aire que originan un fenómeno de elutriación, arrastrando consigo fuera de la tolva gran cantidad de partículas finas, quedándose, finalmente, el resto de éstas concentradas en una capa en la parte superior de la mezcla.

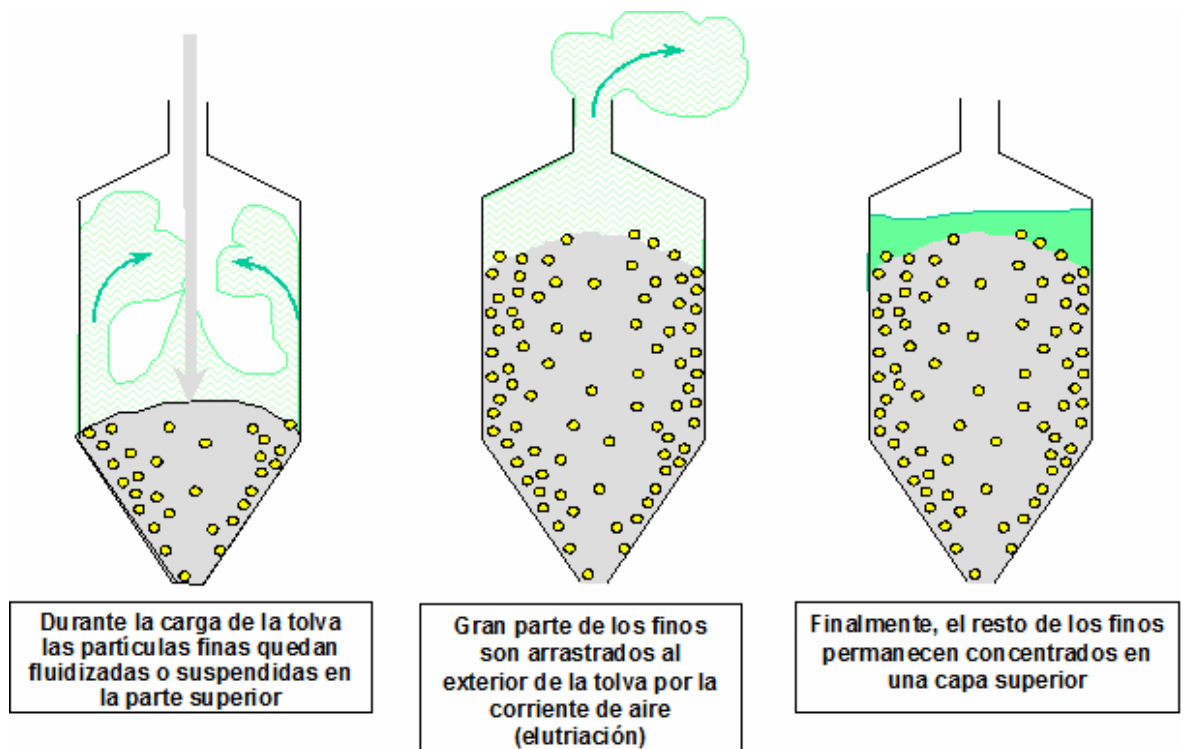


Fig.4.13. Ejemplo de fluidización y de elutriación.



## · Carga y descarga de silos

Finalmente, una situación muy típica en la encontramos segregación es la originada por la carga o descarga de silos, tolvas, contenedores o cualquier otro tipo de recipiente. Con el fin de entender cómo y cuándo tiene lugar la segregación en estos casos, es imprescindible entender los distintos regímenes de flujo que se suceden en el interior de las tolvas, dependiendo del diseño de éstas y de las diferentes circunstancias en las que se realice tanto el llenado como el vaciado.

### Régimenes de flujo

Existen muchos términos para describir los diferentes tipos de flujo con los que los materiales granulados llenan o vacían las tolvas; sin embargo, las expresiones más utilizadas son “Flujo en Masa” (“Mass Flow”) y “Flujo en canal” (“Funnel Flow”), descritas a continuación [11]:

- **Flujo en masa:** se utiliza este término cuando el producto se desliza homogéneamente por las paredes de la tolva durante el vaciado de ésta, es decir, la velocidad con la que desciende el producto es la misma en todos los puntos, ya sea en el centro o cerca de las paredes de la tolva. En resumen, el producto desciende uniformemente. Apreciamos dicho comportamiento en la siguiente figura:

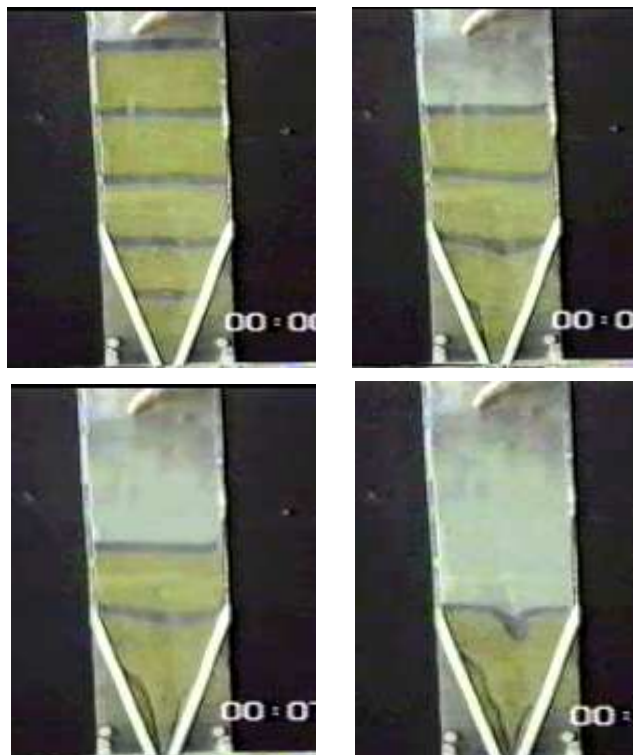


Fig.4.14. Ejemplo de vaciado de tolva con un “Flujo en Masa”.



En esta figura se aprecia una mezcla de distintos compuestos granulados del mismo tamaño pero con distinta densidad: Distinguimos franjas oscuras que representan partículas pesadas y franjas de color amarillento que representan partículas más ligeras, finos. Gracias al diseño de la tolva, a pesar de que el producto que ésta contiene posee distintas densidades, el vaciado es uniforme. Gracias a ello la segregación producida es mínima, convirtiendo así a la descarga en "flujo en masa" en la más idónea para cualquier proceso.

- **Flujo en canal:** cuando el vaciado no es uniforme, es decir, cuando el producto que hay en el centro de la tolva se mueve a mayor velocidad que el se encuentra próximo a las paredes de ésta, la descarga del material se produce mediante la aparición de un "canal" en la zona central de la tolva, tal y como se muestra a continuación:

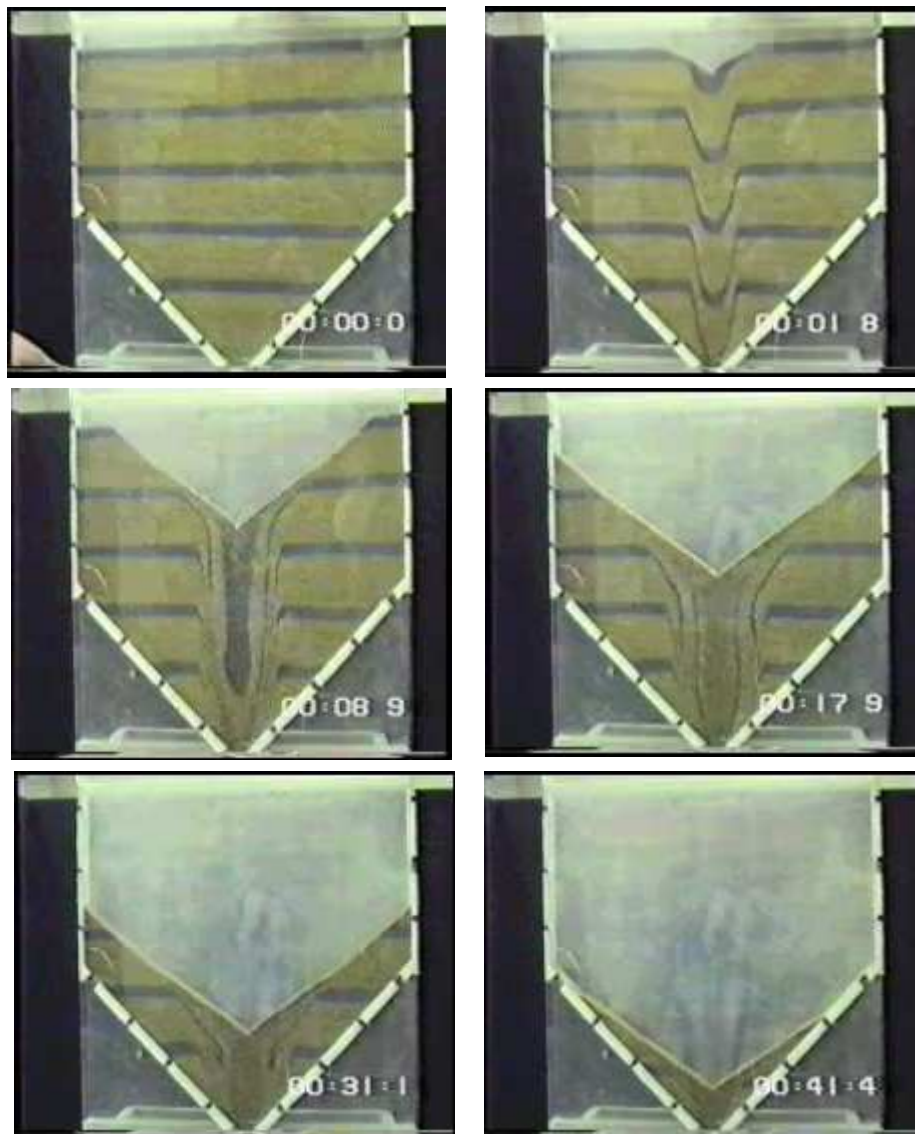


Fig.4.15. Ejemplo de vaciado de tolva con un "Flujo en canal".





Mediante esta figura se aprecia con claridad la segregación que se produce mediante este tipo de flujos. Se observa como inicialmente, y debido al mayor peso que tienen, las partículas oscuras se precipitan todas juntas creando un gran cúmulo de producto pesado, para después dar paso a una salida de producto con un porcentaje muy elevado de finos.

En este caso la segregación es muy significativa, convirtiendo a este régimen de descarga en un gran inconveniente para cualquier proceso, especialmente en procesos de empaquetado, tal y como se ve posteriormente para nuestro proyecto.

Volviendo al mecanismo de segregación de “carga y descarga”, es importante comentar que en la actualidad se fabrican todo tipo de contenedores, de todas las formas y tamaños, en los que se almacenan gran variedad de productos. Distintos ejemplos de ellos podrían ser silos, tolvas, búnkeres, depósitos, etc.

A pesar de esta amplia variedad, se suceden modelos de flujo muy similares en todos ellos.

Si el llenado de los contenedores se realiza suministrando el producto de forma transversal mediante una cinta transportadora o en un punto de carga fuera del centro, puede suceder segregación durante la descarga de dicho producto.

Se aprecia un ejemplo de ello mediante la siguiente figura:

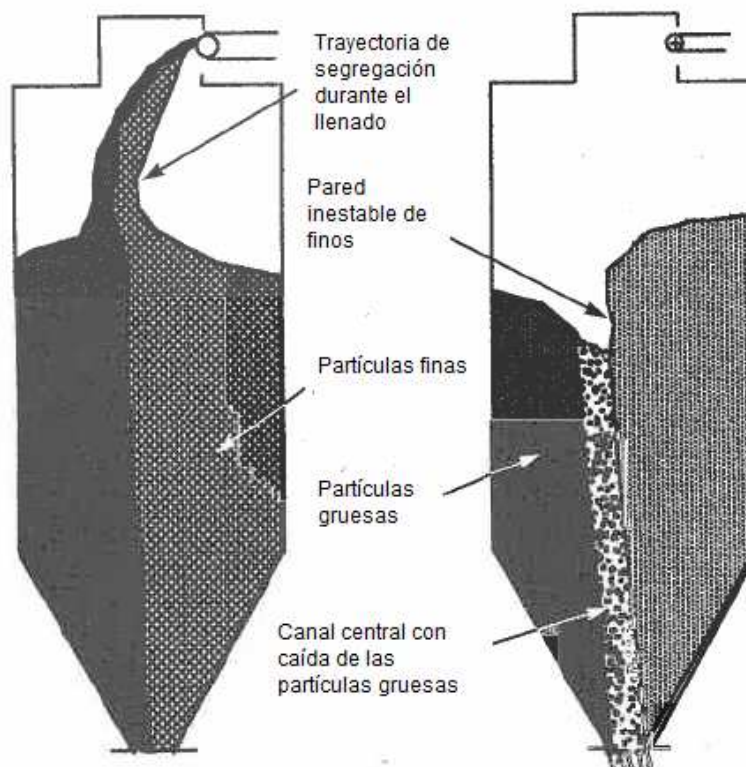


Fig.4.16. Ejemplo de llenado de silo por cinta transversal [7].





En este caso, y debido al tipo de llenado que se ha realizado, se encuentra un contenedor que posee partículas pesadas en un costado y partículas más ligeras (finos) en el otro, sesgando así al silo en dos mitades.

El régimen de flujo que se produce durante la descarga de ejemplos como éste no es en masa, dando así lugar a la segregación.

En este caso, durante el vaciado del silo se forma un canal de flujo preferente a través de la región de material grueso o pesado (partículas negras), en lugar de un camino vertical por encima de la salida.

Así pues, se descargan en primer lugar las partículas gruesas, mientras que una pared de partículas finas se va quedando cohesionada en el lado opuesto.

La altura que ésta alcanza depende de las propiedades del producto.

A medida que la pared de partículas finas va creciendo aumenta también su inestabilidad, hasta el punto en el que finalmente se derrumba permitiendo también la descarga de las partículas finas.

Así pues, durante la descarga de este contenedor se producen cambios imprevistos en la composición del producto de salida, imposibles de predecir.

Con todo ello se aprecia la importancia del proceso de llenado, ya que éste influenciará radicalmente en el comportamiento del producto durante su descarga. También se observa que la descarga de contenedores es una de las principales fuentes de segregación.



#### 4.4.3. Técnicas de corrección de la segregación

En la actualidad no existe una ciencia exacta y completamente fidedigna sobre cómo paliar la segregación, ya que cada producto segrega de forma distinta dependiendo de su composición o del recipiente en el que se encuentre depositado. Además, la mayoría de los estudios que hacen referencia a ello se encuentran bajo patente, haciendo así más inaccesible su uso. Sin embargo, existe bibliografía que marca criterios y da ciertas referencias sobre qué medidas tomar [7, 8, 12].

Según ésta, para poder combatir la segregación en primer lugar es importante tratar de minimizar la predisposición del producto a segregar. Para ello se recomiendan muchas acciones, como por ejemplo:

- **Reducir la diferencia de tamaño de las partículas:** si se consigue establecer que todas las partículas que componen la mezcla tengan el mismo tamaño o que éste sea lo más aproximado posible, se reduce también considerablemente el efecto de segregación, especialmente si éste viene dado por un mecanismo de filtración o percolación. (Apartado 4.4.2).

- **Extracción de finos:** a pesar de que se requiera de una operación de separación para retirar los finos, y la posibilidad de otra operación para re-inyectar el material en una fase posterior de la producción, esta acción se puede considerar aceptable en aquellos casos en los que el proceso tengo un gran número de puntos donde se suceda segregación, haciendo que insuficiente cualquier otra medida para evitar el problema.

- **Añadir humedad o un agente de unión débil:** esta acción impide la separación de las fracciones de la mezcla, ya que aumenta la cohesión entre las partículas que la componen. Sin embargo, a pesar de que gracias a ello se reduce la segregación, también se producen efectos nocivos en la fluidez del material, dando lugar así a posibles problemas durante la producción de éste. No obstante, utilizado con moderación, este método puede ser un buen mecanismo con el que erradicar la segregación de un proceso.



- **Alterar las condiciones ambientales:** realizar cambios en las condiciones atmosféricas del proceso, así como la temperatura, la presión o la humedad, puede reducir los efectos de la segregación.

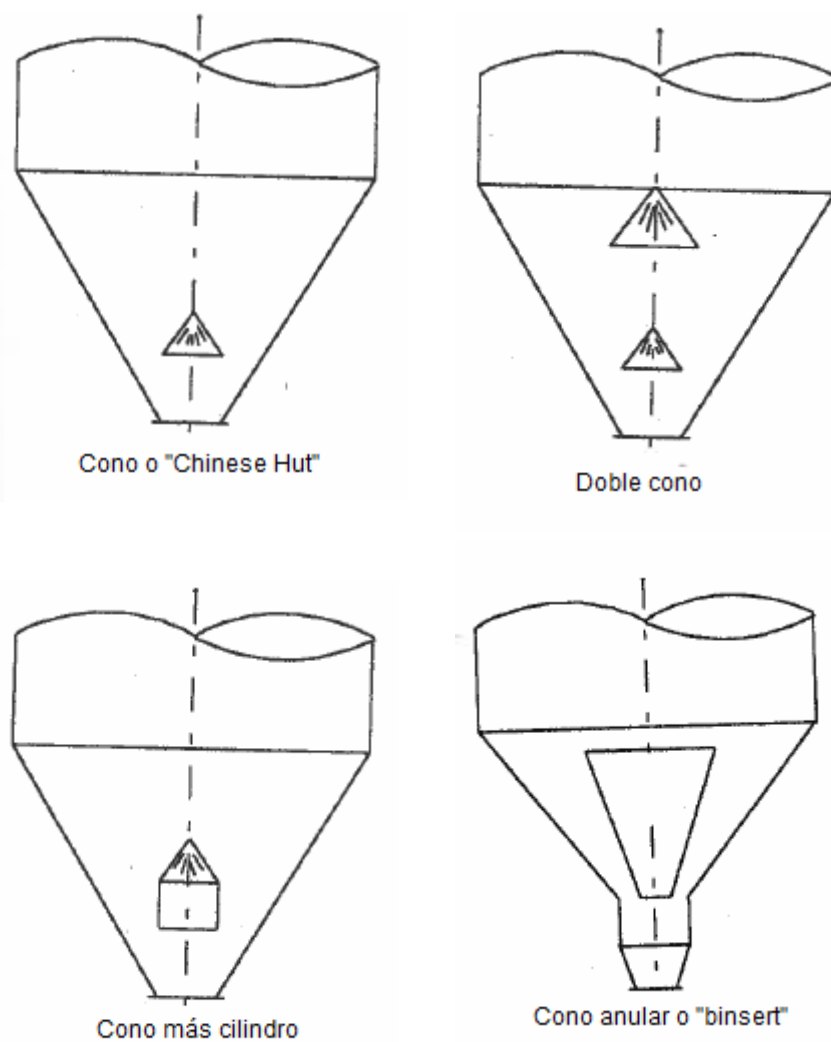
- **Reducir el desgaste de las partículas durante su manipulación:** la mala manipulación del material puede originar que se rompan las partículas más grandes en fragmentos más pequeños (de todo tipo de tamaños), proporcionando así una composición ideal para que se produzca segregación. Evitar todo ello es un buen método para prevenir la aparición de este fenómeno.

Otra alternativa existente para erradicar o minimizar los efectos de la segregación es la utilización de tolvas que realicen una descarga del producto mediante régimen de "flujo en masa" (apartado 4.4.2). Para que éste se suceda, por regla general, las paredes de la tolva tienen que tener una inclinación mínima de 60°. En el caso de que dicha inclinación sea inferior, la velocidad de descarga del producto que se encuentra en las paredes de la tolva es inferior a la del producto que se encuentra ubicado en el centro de ésta, sucediéndose así el "flujo en canal". Además, se recomienda también que el material de la tolva sea lo más deslizante y antiadherente posible. De esta manera se consigue así optimizar la fluidez del producto durante la descarga, propiciando que se establezca un régimen de "flujo en masa".

Para todos aquellos casos en los que la tolva, por un error de diseño, realiza un flujo de descarga en canal, se aconseja el uso de "insertes". Los "insertes" son dispositivos metálicos que se introducen en el interior de la tolva con el fin de minimizar la segregación. Éstos dispositivos, correctamente dimensionados y ubicados, son capaces de contrarrestar la tendencia del producto a segregar durante su descarga ya que convierten el flujo en canal en un flujo en masa. Esto se debe a que debido a su diseño, eliminan los gradientes de velocidades de descarga del producto ubicado junto a las paredes de la tolva y del producto situado en el centro de ésta.



Existen distintos modelos y tipos de “insertes”, distintos ejemplos de ellos se muestran en la siguiente figura:



**Fig.4.17. Distintos tipos de “insertes” [7].**



## **5. Estudio de variables responsables de la segregación**

Una vez identificada la segregación como causa principal por la que se sucede el sobrellenado y el poco peso de los cartones durante su empaque ("Overpack & Scrap"), nos proponemos a eliminar todas aquellas variables o anomalías que pueden influenciar en la segregación [7, 10].

De esta manera, no tan sólo descartamos que el problema venga dado únicamente por dichas anomalías, sino que además, gracias a la supresión de éstas, optimizamos el funcionamiento del sistema.

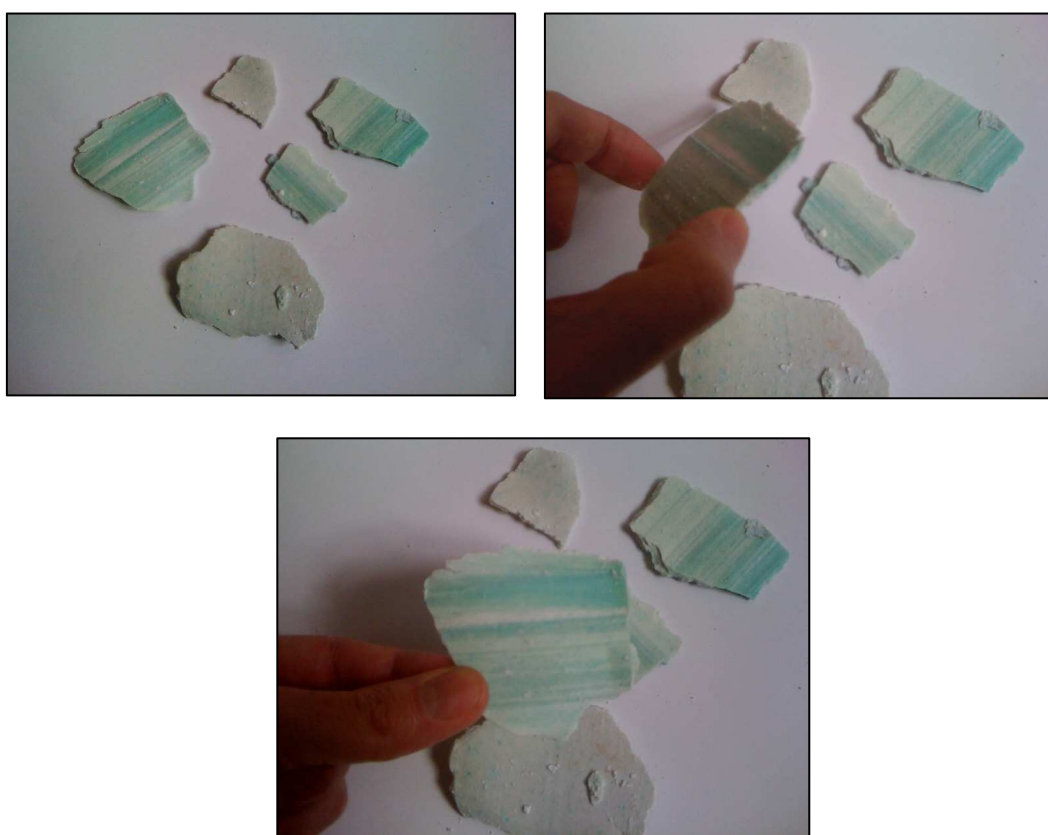
A continuación se citan y explican con detalle todas las acciones tomadas:



## 5.1. Eliminación de “Make-up”

Debido a la mecánica de funcionamiento de la llenadora, durante su uso ésta va constantemente friccionando y apelmazando el detergente en su interior, con lo que éste se queda enganchado sobre las paredes de la máquina formando una capa o película conocida con el nombre de “make-up”.

En la siguiente figura se ve un ejemplo de ello:



**Fig. 5.1: Ejemplos de “Make-up”.**

Por culpa del “make-up” disminuye la fluidez del producto en el interior de la llenadora; además también aparecen más fricciones entre las piezas y engranajes de la máquina. Todo ello provoca que la velocidad de trabajo de ésta disminuya, afectando así a su rendimiento.



Antes de la fabricación del nuevo detergente, este fenómeno también existía pero en menor escala, con lo que con una limpieza semanal de la llenadora ya era suficiente. Sin embargo, con el cambio de composición la aparición de "make-up" aumenta, obligando a realizar un mínimo de dos limpiezas semanales.

A continuación, en las figuras 5.2 y 5.3 se puede observar un ejemplo del interior de la llenadora, primero con la capa de "make-up" y luego limpia.



**Fig.5.2.** Interior de la llenadora con "make-up".







**Fig.5.3. Interior de la llenadora limpia.**

En la primera imagen, se observa como el “make-up” cubre por completo de color azul el interior de la llenadora, hasta el extremo de que apenas se ve el metal de ésta.

En la segunda, se percibe como la máquina se encuentra ya bastante limpia, aunque aún se pueden apreciar algunos restos de “make-up”.

Así pues, con el fin de ver si el “make-up” es un factor determinante en el Overpack y Scrap, se procede a eliminar esta anomalía realizando una limpieza diaria durante una semana y comparando el porcentaje de paquetes rechazados ocurridos durante ésta, en comparación con otra semana cualesquiera en la que el número de limpiezas fue el habitual.

Se recuerda que para que esta comparativa sea lo más verídica posible, el estudio se realiza en una única línea de empaque y con el mismo tipo de detergente.





Tras realizar todo lo anteriormente dicho, con la limpieza diaria el rendimiento de la máquina aumenta ligeramente, sin embargo no se obtiene ninguna mejora significativa respecto a los niveles de Overpack & Scrap, tal y como se aprecia a continuación:

**Tabla 5.1. Resultados de los porcentajes de Overpack & Scrap con y sin limpieza diaria.**

	Fecha	% Overpack	% Scrap
Limpieza Ordinaria	04/08/2008	1,22	1,17
	05/08/2008	1,21	1,18
	06/08/2008	1,17	1,23
	07/08/2008	1,14	1,19
	08/08/2008	1,17	1,19
	09/08/2008	1,16	1,21
	10/08/2008	1,15	1,15
	<b>Promedio</b>	<b>1,17</b>	<b>1,19</b>
Limpieza Diaria	11/08/2008	1,07	1,19
	12/08/2008	1,03	1,18
	13/08/2008	1,08	1,14
	14/08/2008	1,16	1,13
	15/08/2008	1,23	1,14
	16/08/2008	1,21	1,15
	17/08/2008	1,11	1,15
	<b>Promedio</b>	<b>1,13</b>	<b>1,15</b>

Vemos que con la limpieza diaria respecto al porcentaje de Overpack mejoramos de un 1,17 a un 1,13%, y respecto al Scrap pasamos de un 1,19 a un 1,15%. Estos valores representan el porcentaje de paquetes que se han hecho durante la producción que han sufrido de Overpack o de Scrap.

Aunque en ambos casos se disminuye el porcentaje, tal y como se ha dicho anteriormente, esta mejora no es significativa ni implica que el make-up sea una anomalía determinante en la problemática del Overpack & Scrap.



## 5.2. Estudio de las condiciones atmosféricas

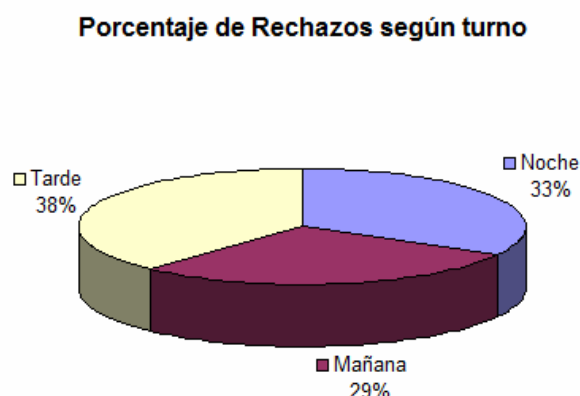
En este apartado se intenta esclarecer si anomalías provocadas por las condiciones atmosféricas, así como la temperatura y la humedad, afectan significativamente al empaquetado del producto.

Supuestamente, un exceso de calor o de humedad en el ambiente puede provocar que el producto sea más pegajoso, afectando así drásticamente a su fluidez durante el proceso de empaquetado.

Si el detergente fluye mal, implica que no todos los aditivos y compuestos que componen el producto se desplacen de manera uniforme a través del sistema, pudiendo producir así variaciones en la densidad.

Es por ello que se estudia el número de rechazos producidos por detergentes que fueron elaborados a distintas horas del día, clasificándolos según el turno en el que fueron fabricados: mañana, tarde o noche.

Tras recopilar todos los rechazos ocurridos durante una semana, y comparando también los valores de los porcentajes de Overpack & Scrap obtenidos, se observa que, a diferencia de lo que se esperaba, el detergente elaborado durante el turno de noche (supuestamente el menos conflictivo debido a las suaves temperaturas), produce prácticamente el mismo número de rechazos que los detergentes elaborados en los otros turnos, tal y como se aprecia en la siguiente figura:



**Fig.5.4. Porcentaje de rechazos según turno.**

Es por todo ello que esta anomalía no es tampoco un factor que influya significativamente en la aparición del fenómeno del Overpack & Scrap.



### 5.3. Edad del detergente

Otra anomalía a considerar es la edad del detergente.

Según dependa de las previsiones que se hagan y de la demanda que haya, a menudo ocurre que el detergente que se fabrica, en vez de ser empaquetado a continuación de su elaboración, resta almacenado en los carros durante varias horas, llegando incluso a permanecer ahí hasta varios días.

Es por ello que se estudia si este factor puede llegar o no a influenciar en nuestra problemática.

Tal y como se ha comentado en el apartado 5.2, la mala fluidez del producto puede llegar a comportar variaciones en la densidad de éste durante el transcurso del proceso de empaquetado.

La humedad es la principal causante de que el detergente no fluya correctamente, ya que con ella éste se vuelve más pegajoso, adhiriéndose más a las paredes de la maquinaria y favoreciendo así a la aparición del "make-up".

Según el modelo teórico del proceso de fabricación, toda la humedad del producto se elimina durante la atomización de la pasta de detergente, gracias a la acción del aire caliente proporcionado por el horno, tal y como se explica en el apartado 2.3.1. Sin embargo, trabajando en condiciones reales no es posible que se dé dicho secado completamente, con lo que nos encontramos que el detergente que se empaca aún posee ciertas trazas de humedad.

Otro factor que afecta a la fluidez es la compactación. Debido a las propiedades físicas del detergente, si éste sufre de fuertes presiones (como si de arena se tratase) puede llegar a apelmazarse, a compactarse en grandes bloques de producto, afectando así a su fluidez.

Con todo ello se decide realizar una prueba para demostrar la influencia de la edad del detergente en estos factores, humedad y compactación.

Se procede a separar dos carros de una producción y estudiarlos en detalle. El detergente que contiene el carro número 1 se empaqueta a continuación de que haya sido fabricado, recogiendo muestras y observando el comportamiento del producto durante su empaque gracias a la información ofrecida por el sistema de adquisición de datos y el checkweigher.



Por otro lado, el carro número 2 se guarda en almacén y no se empaqueta hasta transcurrida una semana. Al igual que con el primer carro, también se recogen muestras y se estudia el comportamiento del detergente.

Tras analizar y comparar los resultados obtenidos en ambos casos, se concluye que las muestras del primer carro contienen niveles más elevados de humedad que las del segundo. La causa de ello es que con el paso de los días, el detergente se va secando.

Es importante destacar que el almacén donde se encuentran los carros no dispone de ningún sistema de climatización, con lo que al realizarse esta prueba en el mes de agosto se alcanzan temperaturas medias de 30 grados, favoreciendo así al secado de dicho producto.

Sin embargo, los niveles de compactación de las muestras del segundo carro (concretamente las de la parte inferior del carro), son mucho más elevados que los del primero. Esto se debe a que el detergente del segundo carro ha tenido que soportar durante mucho tiempo una continua presión provocada por el propio peso del detergente almacenado. Cabe recordar que cada carro es capaz de albergar unos 2.000 Kg de producto.

Respecto a los resultados de Overpack & Scrap obtenidos durante el empaque del detergente de estos carros, no se obtiene mucha diferencia. En ambos casos se registran unos porcentajes de sobrellenado muy parecidos, del orden del 1,12%.

Así pues, se concluye que la edad del detergente no es determinante en nuestra problemática; ya que cuanto más edad tenga el producto, aunque debiera de tener éste mayor fluidez debido a que se encuentra más seco, a la vez posee más compactación, con lo que una cosa contra-resta a la otra haciendo que esta anomalía no sea objeto a considerar en el estudio.



## 5.4. Formación Operarios

Finalmente, la última anomalía a tener en cuenta es el propio factor humano.

Por procedimiento establecido en la empresa, cualquier nuevo empleado recibe una formación con la que se le enseña a desenvolver su trabajo de una forma óptima y adecuada. Además, continuamente se realizan cursos con los que los trabajadores actualizan y mejoran tanto sus conocimientos como sus procedimientos de trabajo.

Sin embargo, y a pesar del continuo esfuerzo que la compañía hace con todo lo anteriormente citado, como personas que son, los empleados cometen errores.

Así pues, con el fin de descartar la posibilidad de que la problemática se debiera a un mal procedimiento durante el desempeño del trabajo de los operarios, se imparten formaciones específicas a aquéllos potencialmente responsables del "Overpack & Scrap", es decir, a los empleados que se ocupan tanto del manejo de la llenadora como de los que suministran los carros a las bocas de descarga y realizan el ya mencionado "cambio de carro".

Tras realizar los cursos de formación, se estudia si se aprecian mejoras en las producciones respecto a los valores de "Overpack & Scrap". Como es de esperar no se aprecian cambios significativos, descartando así ésta anomalía como responsable directa de la problemática.

Después de haber estudiado todas las anomalías y comprobar tras tratarlas que ninguna de ellas es responsable directa de la segregación ocurrida durante el proceso, se concluye que ésta se sucede por un mal diseño de las instalaciones. Es por ello que se procede a realizar modificaciones en ellas instalando distintos dispositivos con los que solucionar el problema.



## **6. Propuesta e implementación de mejoras. Comprobación de resultados.**

A lo largo de todo este proyecto se ha realizado un arduo esfuerzo para, en primer lugar, entender cuál es exactamente la problemática. A continuación se ha conseguido recopilar gran cantidad de información con la que ha sido posible entender el proceso, identificando a la segregación del detergente como el motivo real por el que se sucede el sobrellenado o el mal llenado de los paquetes de detergente, es decir, se demuestra el por qué de la aparición de “Overpack & Scrap”.

Posteriormente, tras eliminar todas las anomalías o variables del proceso que pueden influenciar en la segregación, se observa que el problema persiste. Es por todo ello que se decide actuar sobre el diseño de las instalaciones.

Así pues, con todo ello en este capítulo se planifican e implementan distintas mejoras en las instalaciones con las que intentar paliar los efectos nocivos producidos por la segregación.

En primer lugar se identifican los principales puntos de la línea de producción dónde se sucede la segregación. Posteriormente, para cada uno de ellos, se diseña algún dispositivo con el que paliar dicha segregación. A continuación, tras comparar varios presupuestos de distintos contratistas, se encargan todos los elementos necesarios para aplicar las mejoras y finalmente, se procede a la instalación de todos ellos.

Es importante mencionar que, con el fin de minimizar el impacto negativo de tener la línea de producción parada durante varios días para poder instalar uno a uno los dispositivos, se aprovecha un día de parada general de la fábrica por mantenimiento para hacer todas estas implementaciones a la vez. Es por todo ello que en la comprobación de resultados no se puede distinguir los beneficios que aporta cada mejora por separado, sino que únicamente se obtiene un valor global, proveniente del resultado de la acción común de todas las medidas instaladas.

Así pues, a continuación se procede a enunciar los puntos del proceso en los que se produce la segregación y a explicar la mejora aplicada en cada uno de ellos.



## 6.1. Salto de cintas

Durante el proceso de elaboración (apartado 2.3.), el detergente se desplaza constantemente mediante cintas transportadoras. En la intersección de cada una de ellas, el detergente produce un salto de una cinta a otra originando cierta segregación (apartado 4.4.2.). Sin embargo, el caso más grave de segregación producido por este fenómeno se sucede en el cruce de cintas que transportan el detergente desde la bomba hasta la tolva de almacenamiento, todo ello debido a la gran diferencia de altura que hay entre las dos cintas.

Para solucionarlo se diseñan e instalan distintos deflectores de acero inoxidable. Éstos tienen unas dimensiones de 50x35x0,2cm, y poseen unas bisagras a lo largo de la base con las que regular la inclinación, a modo de encontrar así, mediante distintas pruebas, el ángulo que propicie la no segregación.

La siguiente figura representa mediante líneas rojas el recorrido que realiza el detergente durante el salto de una cinta a otra. Observamos como gracias a la implantación de los deflectores se minimiza la segregación del producto por trayectoria.

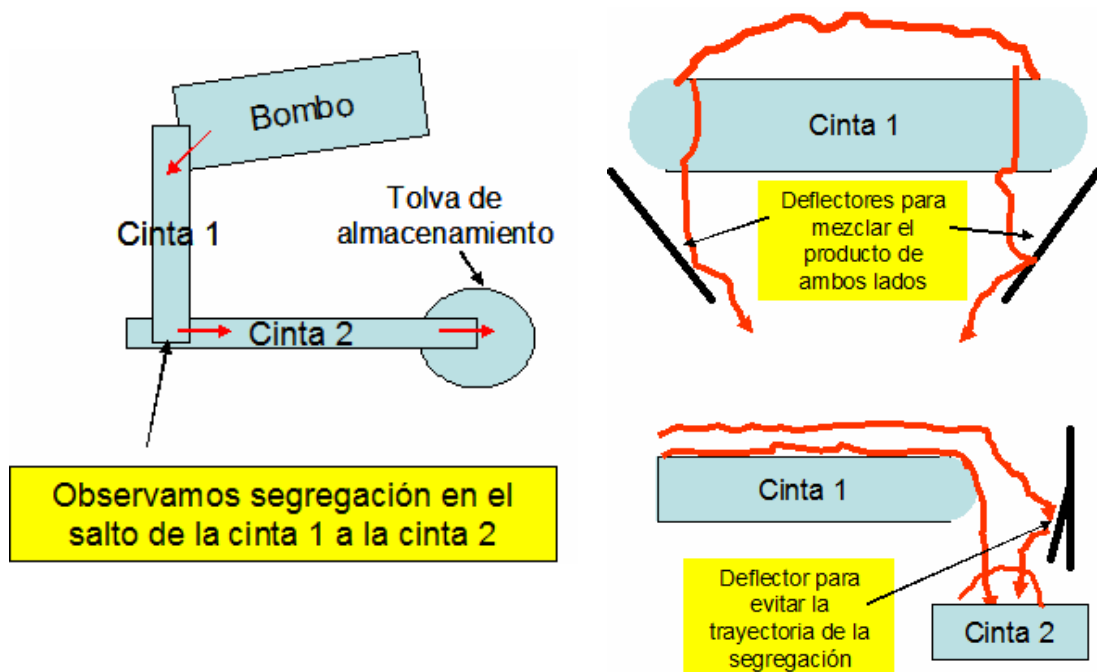


Fig.6.1. Segregación durante el salto de cintas



## 6.2. Descarga de carros

Otro punto en el que se genera segregación es durante la descarga de los carros. Durante este proceso se produce un “flujo en canal”, el cual, tal y como se ha comentado en el apartado 4.4.2, es uno de los mayores causantes de segregación.

En referencia al apartado 4.4.3, se decide la realización de un inserte llamado “binsert” para minimizar así la segregación en este punto. Debido a la confidencialidad del proyecto no se pueden especificar los criterios aplicados a la hora de diseñar el “binsert”. Sin embargo, si se puede mencionar que éste se realiza con acero al carbono en espejo pulido, para favorecer así la fluidez del detergente cuando pase a través de él. Además, también dispone de unas varillas de acero inoxidable con las que se fija a la parte superior del carro, permitiendo así que el “binsert” quede suspendido en el interior del carro, cerca de su desembocadura.



**Fig.6.2. Carro o “buggie”.**



**Fig. 6.3. Binsert.**



**Fig. 6.4. Binsert en el interior del carro.**





Es importante mencionar que debido al gran número de carros de que dispone la fábrica (más de 200), no es viable económicamente la instalación de un "binsert" en cada uno de ellos. Sin embargo, a modo de comprobar la efectividad que tendría éste en el caso de aplicarse, se concede presupuesto para la elaboración de uno. Éste se puede apreciar tanto en las figuras 6.3 como 6.4.

### 6.3. Descarga de la tolva de la llenadora

Otro punto en el que se detecta la segregación es en el vaciado de la tolva de alimentación de la llenadora. Al igual que en el punto 6.2, y según las referencias del apartado 4.4.3, se diseña un dispositivo con el que minimizar la segregación en este punto.

En este caso se diseña un inserte conocido con el sobrenombre de "Chinese Hut" o "choza china" por su aspecto. Se decide la utilización de este dispositivo ya que se considera más óptimo que el aplicado en los carros debido al diseño de la tolva. También éste se elabora con acero al carbono con efecto "espejo pulido", para maximizar así la fluidez del detergente a su paso. Se fija en la parte inferior e interior de la tolva mediante unos brazos, tal y como se muestra en la siguiente figura:



**Fig.6.5. Chinese Hut en el interior de la tolva.**

A través de la instalación de este dispositivo se consigue minimizar la segregación durante el vaciado de la tolva. Esto se debe a que gracias al "chinese hut", la velocidad de descarga del detergente que se encuentra en contacto con las paredes de la tolva es muy parecida a la velocidad de descarga del producto que se encuentra en el centro de ésta, produciéndose así un flujo en masa durante el vaciado (apartado 4.4.2).



## 6.4. Sustitución de la cabeza de la llenadora

Finalmente, la última mejora que se aplica es la sustitución de una pieza de la instalación, la sustitución de la cabeza de la llenadora.

En el apartado 5.1. se aprecia como la aparición de “make-up” en la llenadora genera problemas de fluidez del producto, favoreciendo así la segregación de éste. A pesar de que todo ello no es un factor determinante para la aparición de segregación, si que es cierto que ayuda. Es por ello que, con el fin de minimizar la presencia de “make.up”, evitando así también las constantes limpiezas de la maquinaria, se procede a la sustitución de la cabeza de la llenadora, actualmente realizada con acero, por otra de acero inoxidable con efecto “espejo pulido”, material muy deslizante que impide la acumulación de detergente sobre él.

En las siguientes figuras apreciamos en primer lugar la cabeza de la llenadora de acero, y en segundo la nueva pieza realizada con acero inoxidable “espejo pulido”.



**Fig.6.6. Cabeza de la llenadora de acero común.**



**Fig. 6.7. Cabeza de la llenadora de acero en espejo pulido.**



## 6.5. Comprobación de resultados

Una vez realizadas todas las mejoras, en este apartado se presentan los resultados obtenidos por todos los dispositivos de captación de datos (apartado 4.2.), con los que se analiza la eficacia de los dispositivos instalados.

Tal y como se ha comentado anteriormente, cabe recordar que se decide hacer todas las modificaciones a la vez, aprovechando una parada de la planta por mantenimiento, para evitar así el tener la fábrica parada durante varios días. El inconveniente de ello es que no se pueden distinguir los beneficios que aporta cada mejora por separado, sino que únicamente se obtiene un valor global, proveniente del resultado de la acción común de todas las medidas instaladas.

Así pues, después de todo ello, se procede a reanudar la fabricación del detergente y a realizar un control exhaustivo de todas las producciones que se realizan en la línea donde se han aplicado las mejoras.

En primer lugar, se observa cómo el número de cartones rechazados durante las producciones se reduce considerablemente. Además, los porcentajes de sobrellenado y de cartones vacíos disminuyen drásticamente.

En figura 6.8. se muestran los promedios de los porcentajes de "Overpack & Scrap" obtenidos a lo largo de las producciones del año en el que se realiza el proyecto. Se aprecia como a partir de mediados de octubre, fecha en la que se realizaron las mejoras, se produce una disminución significativa de dichos porcentajes, llegando a unos valores ínfimos de 0,41% de Overpack y de 0,53% de Scrap.



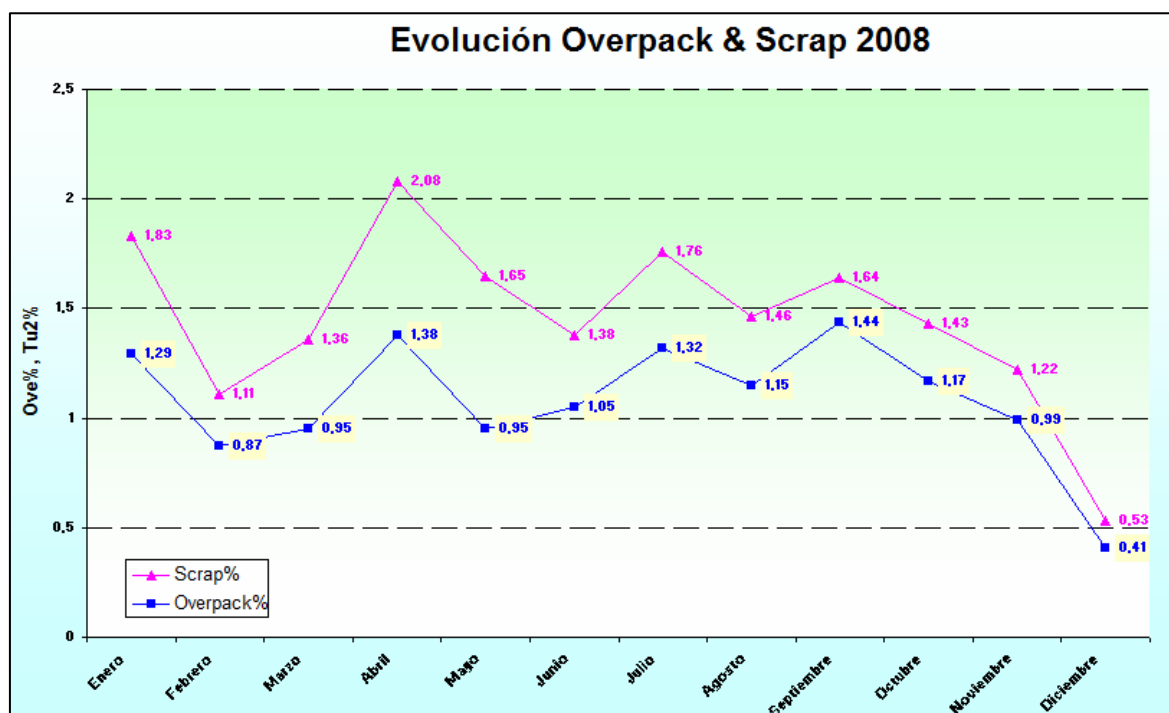


Fig.6.8. Evolución de los promedios de “Overpack & Scrap” durante el año.

Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados obtenidos. Para ello, al igual que en el apartado 4, se utilizan los datos ofrecidos por checkweigher, por el sistema de adquisición de datos y por las células de pesaje.

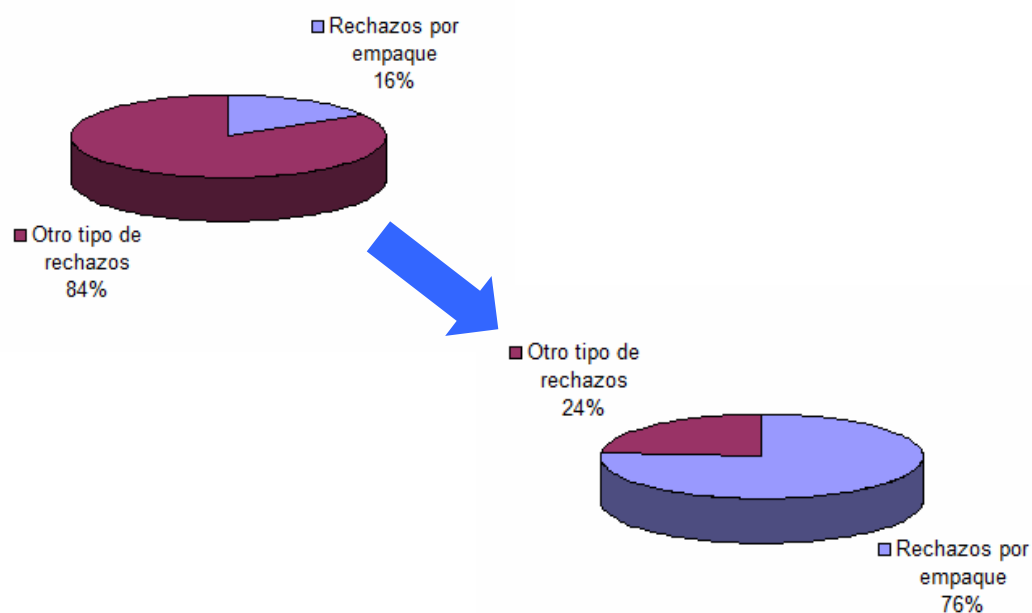
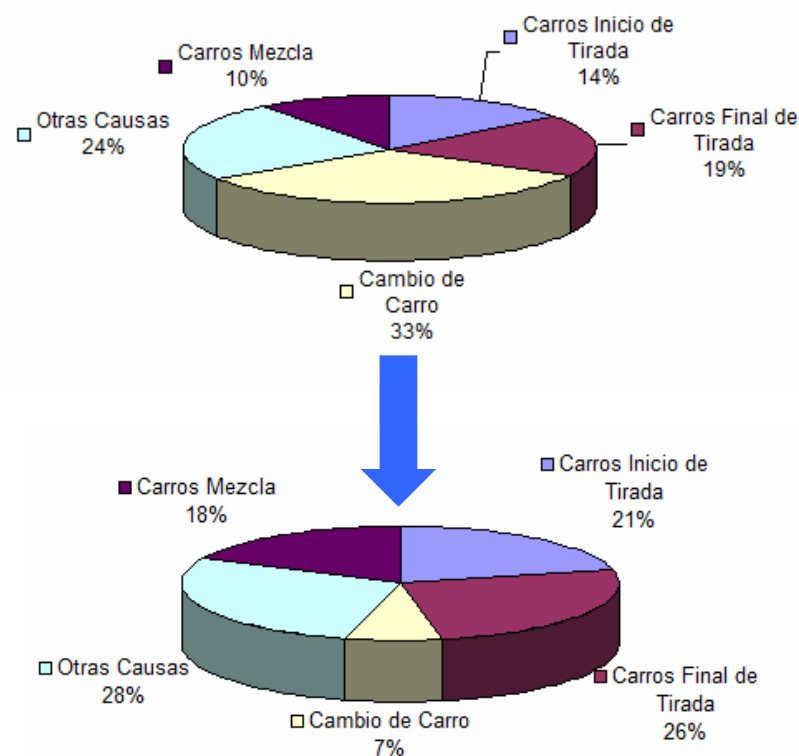


Fig.6.9. Evolución del porcentaje de rechazos debidos al proceso de empaque.



En la figura 6.9. se observa la evolución que hay respecto al porcentaje de rechazos debidos al proceso de empaque. Partiendo de la figura 4.4, se observa como se ha pasado de un 84% de rechazos producidos por causas ajenas al departamento de empaque, a tan sólo un 24%. Eso significa que tras las modificaciones, la mayoría de rechazos de cartones que ocurren se deben a problemas del proceso de empaque: cartones rotos, atascos de cartón, problemas con la cola, solapas mal dobladas, etc. En el resto de rechazos (24%), al igual que se hace en el apartado 4.3, se utiliza la fecha y hora en la que se producen y se relaciona todo ello con los carros, consiguiendo predecir de esta manera en qué carro se encuentra el detergente que provoca el rechazo, obteniendo los resultados de la figura 6.10:



**Fig.6.10. Evolución de la clasificación de rechazos de cartones debidos a causas ajenas al proceso de empaque.**

Se observa cómo tras las mejoras, el porcentaje de rechazos ocurridos durante el "cambio de carro" ha disminuido de un 33% a un 7%. Esto se debe a que toda la segregación que se sucede durante el proceso, especialmente durante la descarga de los carros, queda contrarestanda por los insertes, deflectores y resto de medidas instaladas en la línea. Gracias a ello, minimizando la segregación, se reduce el riesgo de que se produzcan variaciones bruscas en la densidad, siendo éstas las causantes del "Overpack & Scrap".



Así pues, con todo ello, se demuestra que gracias a las medidas tomadas se reduce la segregación ocurrida durante el proceso, causa de la problemática del sobrellenado y poco llenado de los cartones. Prueba de ello se muestra con los porcentajes tan pequeños de “Overpack & Scrap” registrados. Además, como consecuencia de estas mejoras, también se produce una disminución en el número de rechazo de cartones. Todo ello equivale a una mejora en la producción de la línea y en un ahorro económico significativo para la empresa.

Como consecuencia de los buenos resultados obtenidos, la empresa decide implementar las mejoras en el resto de líneas de empaque de la fábrica, siendo todo ello un trabajo ya ajeno a este proyecto.



## 7. Estudio económico del proyecto

A continuación, se realiza un estudio económico del proyecto, donde se presenta el presupuesto necesario para el desarrollo del proyecto.

<b>PRESUPUESTO</b>		
<b>CONCEPTO</b>		<b>TOTAL (€)</b>
<b>Coste del Personal</b>		
Horas Ingeniería	960h * 40€/h	38.400 €
Asesores	150h * 40€/h	6.000 €
<b>Costes del Hardware y Software</b>		
Ordenador Personal	1200€ * 15% de uso	180 €
Licencia MS Office	500€ * 10% de uso	50 €
<b>Material de Oficina</b>		
Consumibles de Oficina, internet, electricidad		200 €
<b>Dispositivos de Mejora</b>		
Deflectores cintas		1.237 €
"Binsert" - carro		1.486 €
"Chinese Hut" - tolva de alimentación llenadora		594 €
Cabeza llenadora		2.839 €
<b>Presupuesto de Actividad</b>		<b>50.986 €</b>
3% de imprevistos		1.530 €
<b>Presupuesto sin IVA</b>		<b>52.516 €</b>
16% IVA		8.402 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>		<b>60.918 €</b>

Fig. 7.1. Presupuesto del proyecto.

El coste del personal especializado que trabaja en la empresa (mecánicos, eléctricos, ingenieros...) y que intervino en el proyecto no se toma en cuenta en esta tabla. Este coste está incluido en los costes generales del departamento.



## 8. Impacto ambiental

En el siguiente capítulo se hace mención, en primer lugar, del impacto ambiental que constituye la realización de este proyecto, y finalmente, de la contaminación que generan los detergentes, elemento protagonista de este escrito.

En referencia al estudio ambiental del proyecto, la disminución de los porcentajes de cartones mal llenados implica una reducción muy significativa de los cartones desechos por bajo peso. Esto repercute en una disminución importante del consumo de cartón y plástico para una determinada producción debido a la reducción de unidades con bajo peso. Además, la disminución de los niveles de “Overpack & Scrap” propicia una reducción de las paradas y arrancadas de todos los motores y máquinas que existen a lo largo de las líneas, con lo que disminuye el consumo eléctrico. Además, gracias también a la disminución de “Overpack & Scrap”, se reduce la cantidad de detergente reciclado proveniente de los cartones que se retiran de la línea por tener bajo peso, consumiendo así también menos recursos energéticos para la realización de dicho reciclaje.

Para finalizar con este capítulo se quiere dar una ligera explicación de la contaminación que generan los detergentes [13].

Uno de los principales problemas que causa el uso de detergentes, es que la mayoría de ellos contienen ciertos aditivos que se pueden convertir en graves contaminantes del agua. Entre los principales aditivos (apartado 2.2.3), están pequeñas cantidades de perfumes, blanqueadores, enzimas, abrillantadores ópticos y agentes espumantes. Además de los antes mencionados, el principal aditivo de los detergentes es el fosfato.

El inconveniente empieza cuando ya se ha desechado el detergente fosfatado. Los fosfatos son arrastrados por el drenaje y la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas no están diseñadas para eliminar fosfatos y por lo tanto, éstos pasan al medio ambiente acuático a través del efluente de las aguas. Se calcula que alrededor del 50% de los fosfatos de las aguas provienen de los detergentes, el porcentaje restante se deriva de compuestos fosforosos de desechos humanos y animales y fertilizantes de fosfato. El problema de los fosfatos, es que actúa como elemento nutritivo para algas y plantas acuáticas, lo que a su vez provoca la degradación de las aguas naturales.





Dentro de los principales problemas de los detergentes podemos mencionar los siguientes:

- **Espuma:** En las plantas de tratamiento de agua provoca problemas de operación, afecta la sedimentación primaria ya que engloba partículas haciendo que la sedimentación sea más lenta, dificulta la dilución de oxígeno atmosférico en agua y recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos.

- **Toxicidad en la agricultura:** Al utilizar aguas que contengan detergentes para irrigación, se pueden contaminar los suelos y por consiguiente, los cultivos.

- **Toxicidad en la vida acuática:** No es posible dar un valor límite de toxicidad debido a que la sensibilidad de cada organismo varía con relación a la especie, tamaño, tipo de detergente y otros factores físicos del medio ambiente. No obstante, existen pruebas de la toxicidad de los detergentes para la vida acuática.

- **Eutrofización:** La palabra proviene del griego "bien alimentado"; constituye un proceso natural de envejecimiento, en el que el lago sobrealimentado acumula grandes cantidades de material vegetal en descomposición en su fondo. Esto tiende a llenar el lago y hacerlo menos profundo, más tibio y con gran acumulación de nutrientes. Las plantas se apoderan del lecho del lago conforme se va llenando y se convierte poco a poco en un pantano para transformarse por último en un prado o un bosque. Es un proceso natural de envejecimiento de un lago que se puede desarrollar en un periodo de cientos de años. Al ingresar grandes cantidades de detergentes, de los que aproximadamente como vimos anteriormente el 50% en peso son fosfatos, los cuales son excelentes nutrientes para las plantas, y éstos sumados con los nutrientes ya existentes en un cuerpo de agua, se acelera el proceso de eutrofización antes mencionado, a tan sólo cuestión de unas décadas. Si hay un excesivo crecimiento de las plantas acuáticas, éstas tienden a cubrir la superficie del agua, impidiendo el libre intercambio de oxígeno y dióxido de carbono. Al morir estas plantas, se descomponen en el lago consumiendo el oxígeno presente en éste. Al cabo de un tiempo ya no hay oxígeno disponible y la descomposición tiene que hacerse de forma anaerobia, en ausencia de oxígeno, dando por consecuencia productos secundarios como metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos que le confieren al agua un olor desagradable. Otro factor que se debe tomar en cuenta, es que los peces presentes en el sistema también necesitan oxígeno disuelto en el agua para poder respirar y si éste se consume con la degradación de las plantas muertas, entonces también los peces mueren. Todos estos procesos implican una degeneración tanto de la calidad del agua como de la vida animal y vegetal que se encuentra en ésta.

- **Efectos de enzimas activas:** Como se mencionó anteriormente, algunos detergentes contienen enzimas, las cuales atacan sustratos orgánicos específicos. El problema se



presenta al usar en exceso estos detergentes, con lo cual se desechan enzimas activas al drenaje, las cuales al llegar al agua provocan daños en los seres vivos presentes en ésta, por acción directa sobre ellos o sobre los nutrientes que componen su dieta.

- **Otros efectos:** afectan algunos procesos de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo: cambios en la demanda bioquímica de oxígeno y en los sólidos suspendidos, efectos corrosivos en algunas partes mecánicas de las plantas, interferencias en el proceso de cloración, en la determinación de oxígeno disuelto, etc.



## 9. Conclusiones

El estudio ha tenido como objetivos principales mejorar la eficiencia y el funcionamiento de las líneas de empackado de una industria de detergentes que presentaba un problema de sobrellenado o poco llenado de los cartones en polvo ("Overpack & Scrap"). De esta manera, se ha conseguido reducir los costes operacionales de este proceso.

Para la solución de dicha problemática, en primer lugar, se llevó a cabo un análisis del funcionamiento de los departamentos de producción y de empaque de detergente en polvo,

Con la ayuda de varios *software* de captación de datos se obtuvo la información necesaria para el análisis del sistema. Dicho análisis permitió identificar cuáles eran las causas que originaban la problemática del "Overpack & Scrap". Se determinó que la principal causa del problema eran las variaciones de densidad del producto, causadas por la segregación de éste durante todo el proceso de empaque.

A continuación, se realizó un estudio de las variables que influyen sobre la segregación (condiciones atmosféricas, humedad, edad del detergente y "make-up") para determinar si éstas eran las únicas responsables de la problemática. Tras eliminar todas las anomalías o variables del proceso que podían influenciar en la segregación, se observó que el problema persistía y que por tanto decidió actuar sobre el diseño de las instalaciones.

Se elaboró e implementó distintas mejoras sobre el diseño de las instalaciones con el objetivo principal de reducir el número de cartones con sobrellenado o poco llenado de detergente ("Overpack & Scrap"):

- Instalación de deflectores en el salto de cinta para que la descarga del producto tenga el ángulo adecuado y disminuir así su segregación.
- Insertar un binsert dentro de los carros para evitar el flujo en canal.
- Instalación de un "chinese-hut" dentro de la tolva para disminuir la segregación durante la descarga de ésta.
- Sustitución de la cabeza de la llenadora para disminuir el efecto make-up.

Finalmente, se realizó una comprobación de resultados, observando como la problemática conseguía erradicarse en gran medida. Se consiguió un 70% de disminución del fenómeno de "Overpack & Scrap".



Gracias a todo ello, la empresa para la que se realiza este proyecto consigue reducir considerablemente los costes ocasionados por el fenómeno de “Overpack & Scrap”, siendo tal la mejoría que tiene en perspectiva la implementación de las mismas acciones para el resto de sus líneas de empaque.



## 10. Agradecimientos

Se quiere agradecer a la empresa para la que se realizó este proyecto toda la colaboración aportada, ya que sin ella este trabajo no se podría haber realizado. También agradecer con especial énfasis al tutor del proyecto, cuya supervisión y tutela han sido de gran utilidad para el buen desarrollo de este escrito.



## 11. Bibliografía

En este capítulo podemos distinguir entre referencias bibliográficas, que son todas aquellas que están citadas en el proyecto; y bibliografía complementaria, en la que se incluyen todas aquellas referencias no citadas directamente en el presente proyecto, pero que pueden resultar de interés por la relación con la temática del proyecto.

### 11.1. Referencias bibliográficas

- [1] DARBRA, R. *Apuntes de la asignatura “Química Industrial”*. UPC, Barcelona 2008.
- [2] Datos internos de la empresa, estudios y análisis de carácter propio, conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto por el contacto directo con los operarios y personal de la empresa, etc.
- [3] MORRISON, THORNTON R, *Química Orgánica*, Addison-Wesley Iberoamericana 5ªEd, Buenos Aires, 1990.
- [4] Detergentes. [<http://www.opcions.org/cast/articulos/detergentes.html>] Fecha de consulta: 12/02/2010.
- [5] Informe *Composición del detergente*. Empresa para la que se realiza el proyecto. 2008.
- [6] “Focus Improvement Projects”. [<http://www.allproengineering.com>]. Fecha de consulta: 02/02/2010.
- [7] HAYES, *User guide to segregation*, BMHB (A British Materials Handling Board publication), England: 1997. p. 32-53.
- [8] JOHANSON, J.R, *Particle segregation and what to do about it*, Chem.Eng. 1978. p. 183-188.
- [9] BRIDGWATER, J. *Fundamental powder mixing mechanisms*. Powder Technology. Vol. 15, p.215-236. 1976.
- [10] BROWN, R.L, *The fundamental principles of segregation*. The institute of fuel. Journal. Vol. 13, (1939).



- [11] CARSON, J.W. *The importance of material flow characteristics in storage tank selection*, Powder/Bulk solids, 1984.
- [12] CARSON, J.W. *Understanding and eliminating particle segregation problems*, *Bulk Solids Handling*, Vol.6, No.1 Feb. 1986, p.139-144.
- [13] Jabones y detergentes. Impacto ambiental [<http://jabonesydetergentes.tripod.com>]  
Fecha de consulta: 23/03/2010.

## 11.2. Bibliografía complementaria

- [14] BATES L, *Developments in hopper desing*. The Chemical Engineer. Nov. 1996. p. 27-34.
- [15] CARDEW, P.T. *Percolation and mixing in failure zones*. Powder technology, 1980, p.119-128.
- [16] JENIKE & JOHANSON, *Flow of solids*, Newsletter Vol.3, No.1.
- [17] ELLIS, G.P, *Química orgánica*, Ed.Limusa-Wiley, Méjico, 1969.
- [18] CLAUGE, K. *Minimising segregation in bunkers*, Brit. Steel Corp. Labs. ref. PE/B/1/72.
- [19] COOKE, M.H, *Interparticulate percolation*, Powder Technology. 21, 1978, p. 183-193.
- [20] SILVA, S.R, *Mixing and segregation in the process industries*, a review, IFPRI Report, 1997.

